



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO PARA EL
MONITOREO INALAMBRICO DE PULSO CARDIACO EN TIEMPO
REAL CON GPS

Tesis de grado presentado para optar al grado académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTOR: JUAN SEBASTIAN GALLO SORIA
TUTOR: ING. JORGE LUIS PAUCAR

RIOBAMBA – ECUADOR

2016

©2016, Gallo Soria Juan Sebastián

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo a la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

El Tribunal de Tesis certifica que: El trabajo de investigación: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO PARA EL MONITOREO INALAMBRICO DEL PULSO CARDIACO EN TIEMPO REAL CON GPS, de responsabilidad del señor Juan Sebastián Gallo Soria, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

DR. MIGUEL TASAMBAY. Phd.

DECANO DE LA FIE

.....

ING. ALBERTO ARELLANO

DIRECTOR EIE CRI

.....

ING. JORGE PAUCAR

DIRECTOR DE TESIS

.....

ING. HUGO MORENO. Phd.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....

Yo, JUAN SEBASTIAN GALLO SORIA, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis de grado, y el patrimonio intelectual de la misma pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Juan Sebastián Gallo Soria

DEDICATORIA

Dedico mi tesis a Dios por bendecirme para lograr lo esperado, por hacer realidad un sueño más en mi camino.

A mi familia, especialmente a mis mejores amigos mis padres, Milián y Vilma, a mis hermanos, Verónica, Paul y Damián, que han sido mi ejemplo toda mi vida, a mis sobrinos, tíos, que con amor y sacrificio supieron motivarme moral y económicamente para culminar mis estudios superiores, obtener un título y llegar a ser un excelente profesional emprendedor al servicio de los demás, ¡Gracias! Sin ustedes no hubiese podido subir un peldaño más en mi vida.

A mi amada esposa y a mis dos preciosos hijos, quienes son seres maravillosos, luz de mi vida, que con su existencia, han llenado mi camino de paz y amor.

A mis amigos, por el apoyo y ayuda incondicional en una vida politécnica llena de aventuras y momentos inolvidables.

JUAN

AGRADECIMIENTO

A Dios por sus bendiciones, por permitirme llegar hasta esta meta y alcanzar lo esperado.

A mi amada familia; esposa, hijos, padres, hermanos por su incondicional apoyo.

Agradezco al Ing. Jorge Paucar por haber confiado en mí, por la paciencia y por la dirección de este trabajo. A todos los ingenieros que colaboraron para lograr esta meta de concluir de la mejor manera este proyecto.

A la ESPOCH por darme la oportunidad de estudiar y ser profesional.

A mis maestros que con sabiduría supieron transmitir sus conocimientos y sembrar en mí el conocimiento que a la postre dará sus frutos, para ser un profesional íntegro y capaz de servir a los demás.

JUAN

INDICE GENERAL

CERTIFICACION.....	iii
DECLARACION DE RESPONSABILIDAD.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
INDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
INDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	4
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	4
1.1. EL CORAZÓN.....	4
1.1.1. Definición	4
1.1.2. Comportamiento de la frecuencia cardiaca	5
1.1.3. Pulso.....	5
1.1.4. Enfermedades cardiovasculares.....	7
1.1.5. Señal del pulso cardiaco.....	8
1.2. FUNDAMENTOS ELECTRÓNICOS.....	9
1.2.1. Amplificador operacional.....	10
1.2.1.1. La configuración inversora	11
1.2.1.2. Configuración no inversora.....	11
1.2.1.3. El seguidor de voltaje	12
1.2.1.4. Rectificador de media onda de precisión	12
1.2.1.5. Circuito comparador	13
1.2.1.6. Circuito integrador.....	14
1.3. AMPLIFICADORES DE INSTRUMENTACIÓN.....	14
1.4. SENSORES.....	15
1.4.1. Sensores ópticos	16
1.4.2. Pulsómetro	20
1.5. AMPLIFICACIÓN BIOELÉCTRICA	22
1.5.1. Filtrado analógico.....	23
1.5.2. Digitalización de la señal	24
1.5.3. Filtrado digital	25
1.6. GPS (SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL).....	26
1.6.1. Funcionamiento	27

1.6.2.	<i>Integración con telefonía móvil</i>	28
1.7.	GSM	29
1.8.	MICROCONTROLADOR	31
1.9.	ARDUINO	31
1.9.1.	<i>Definición y características del Arruino</i>	32
1.9.2.	<i>Funcionamiento</i>	33
1.10.	SISTEMAS EMBEBIDOS	33
CAPÍTULO II		36
2.	MARCO METODOLOGICO	36
2.1.	INTRODUCCIÓN	36
2.2.	SELECCIÓN DEL SENSOR	39
2.2.1.	<i>Introducción del sensor de pulsos</i>	40
2.2.2.	<i>Pulso sensor</i>	42
2.3.	SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR	46
2.3.1.	<i>Introducción a la selección del microcontrolador</i>	47
2.3.2.	<i>Arduino uno</i>	47
2.3.2.1.	<i>Energía</i>	49
2.3.2.2.	<i>Memoria</i>	50
2.3.2.3.	<i>Entrada y salida</i>	50
2.3.2.4.	<i>Comunicación</i>	51
2.3.2.5.	<i>Programación</i>	52
2.4.	SELECCIÓN DE MÓDULOS PARA ARRUINO	53
2.4.1.	<i>Introducción a los módulos para Arduino</i>	54
2.4.2.	<i>GPRS/GSM Shield V2</i>	55
2.4.3.	<i>ublox gy-gps6mv2</i>	56
2.5.	SELECCIÓN DEL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN	58
2.5.1.	<i>Introducción al lenguaje de programación</i>	59
2.5.2.	<i>Funciones básicas y operadores</i>	61
2.5.2.1.	<i>AVR Libc</i>	67
2.5.2.2.	<i>Diferencias con Processing</i>	69
2.5.3.	<i>Bibliotecas en Arduino</i>	70
2.6.	DISPOSITIVOS DE SALIDA	73
CAPÍTULO III		74
3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	74
3.1.	INTRODUCCIÓN	74
3.2.	Análisis de pruebas y resultados	74
3.2.2.	<i>Pruebas de la placa de Arduino Uno</i>	76
3.2.3.	<i>Pruebas del módulo GSM/GPRS Shield V2 y ublox gy-gps6mv2</i>	77
3.2.4.	<i>Pruebas experimentales del proyecto de investigación</i>	78
3.2.4.1.	<i>Pruebas de toma del pulso cardiaco</i>	78
3.2.5.	<i>Pruebas del prototipo</i>	80
CONCLUSIONES		84

RECOMENDACIONES	85
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Rango de frecuencias utilizadas en bisécales.....	23
Tabla 2-1 Características, técnicas y prestaciones GPS.....	26
Tabla 1-2 Tabla de comparación de sensores.....	39
Tabla 2-2 Tabla de pulsaciones por edades.....	41
Tabla 3-2 Tabla de características del pulso sensor.....	42
Tabla 4-2 Tabla de comparación de los microcontroladores.....	46
Tabla 5-2 Tabla de especificaciones de Arduino Uno.....	48
Tabla 6-2 Tabla de comparación de módulos para Arruino.....	52
Tabla 7-2 Tabla de comparación de Lenguajes de Programación para Arruino.....	57
Tabla 8-2 Diferencia de arreglos entre Arduino Procesing.....	64
Tabla 9-2 Diferencia de impresión de cadenas entre Arduino y Procesing.....	65
Tabla 1-3 Resultados de la prueba al sensor de pulsos.....	69
Tabla 2-3 Resultados de la prueba al Arduino Uno.....	70
Tabla 3-3 Resultados de la prueba al módulo GSM/GPRS Shield V2 y ublox gy- gps6mv2.....	71
Tabla 4-3 Resultados de la toma de pulsos de personas en reposo.....	73
Tabla 5-3 Resultados de la toma de pulsos de personas en movimiento.....	73
Tabla 6-3 Datos de personas con algún tipo de enfermedad cardiovascular.....	74
Tabla 7-3 Resultados de las pruebas a la batería portátil.....	75
Tabla 8-3 Resultados de las pruebas del estado del clima.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 El Corazón.....	4
Figura 2-1 Pulso Cardíaco.....	9
Figura 3-1 Diagrama del amplificador operacional.....	10
Figura 4-1 Diagrama de la configuración inversora.....	11
Figura 5-1 Diagrama de la configuración no inversora.....	11
Figura 6-1 Diagrama de la configuración seguidor de voltaje.....	12
Figura 7-1 a) Representación del proceso de rectificación de media onda.....	13
Figura 7-1 b) Proceso de rectificación de onda completa.....	13
Figura 8-1 Diagrama esquemático de media onda de precisión.....	13
Figura 9-1 a) Configuración del circuito comparador de voltaje no inversor.....	14
Figura 9-1 b) Cambio de estados de la salida del comparador según V_{in} con Respecto a V_{ref}	14
Figura 10-1 Configuración del amplificador operacional como integrador.....	14
Figura 11-1 Diagrama del amplificador de instrumentación.....	15
Figura 12-1 LDR.....	16
Figura 13-1 Sensor óptico.....	17
Figura 14-1 Foto-interruptor de barrera.....	19
Figura 15-1 Foto-interruptor reflectivo.....	19
Figura 16-1 Encoder incremental.....	20
Figura 17-1 Encoder absoluto.....	20
Figura 18-1 Etapa de pre amplificación.....	22
Figura 19-1 Proceso de digitalización de una señal analógica.....	24
Figura 20-1 Diagrama de bloques del tratamiento digital de señales.....	25

Figura 1-2 Diagrama de conexión del prototipo.....	37
Figura 2-2 Diagrama gráfico de conexión del prototipo.....	38
Figura 3-2 Sensor de pulsos.....	40
Figura 4-2 Diagrama de conexión del pulso sensor.....	42
Figura 5-2 Forma de onda de la versión de salida permeable.....	43
Figura 6-2 Forma de onda normalizada.....	43
Figura 7-2 Diagrama de conexión del pulso sensor a la placa GPRS GSM SHIELD.....	45
Figura 8-2 Diagrama de conexión de Arduino Uno.....	47
Figura 9-2 Diagrama de conexión de Arduino Uno con GPRS GPS SHIELD.....	51
Figura 10-2 Diagrama de conexión del GPRS/GSM Shield V2.....	54
Figura 11-2 Diagrama de conexión de ublox gy-gps6mv2.....	55
Figura 12-2 Diagrama de conexión de ublox gy-gps6mv2 con GPRS GSM SHIELD.....	56
Figura 13-2 Diagrama de conexión de ublox gy-gps6mv2 con pulso sensor.....	56
Figura 1-3 Prueba con el sensor de pulsos.....	69
Figura 2-3 Pruebas con un led.....	70
Figura 3-3 Prueba de Arruino.....	71
Figura 4-3 Prueba del GSM/GPRS Shield V2 y ublox gy-gps6mv2.....	72
Figura 5-3 Prueba del pulso a personas.....	73
Figura 6-3 Pruebas a la entrada del prototipo.....	77
Figura 7-3 Prueba a la salida del prototipo.....	77
Figura 8-3 Contenido del sms en el teléfono móvil.....	78

INDICE DE ANEXOS

Anexo A. FOTOS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

ANEXO B. FOTOS DE LAS PRUEBAS DEL PROTOTIPO

ANEXO C. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN EN ARDUINO 1.0.5-R2

ANEXO D. PANTALLAS EN EL TELÉFONO MÓVIL

RESUMEN

Diseño y construcción de un prototipo para el monitoreo inalámbrico del pulso cardiaco en tiempo real con GPS, realizado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Escuela de Ingeniería Electrónica y en Control Redes Industriales, laboratorio de control. Es un prototipo desarrollado eligiendo elementos idóneos para construirlo empezando por tomar señales de pulso cardiaco por medio del sensor colocado sobre el dedo índice en cualquier mano, emitiendo pulsos hacia el controlador Arduino Uno, a través de cables para manipular dicha señal, usando sentencias para programar en el propio lenguaje de la placa basado en lenguaje C, más la ayuda de los módulos para Arduino GPS y GPRS/GSM, permitiendo obtener conexión al Sistema de Posicionamiento Global (GPS) con objetivo de ubicar al usuario, al Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) como enlace a teléfonos celulares, emitiendo mensajes de texto con la posición global y condición cardiaca del paciente, dependiendo de su rango de pulsos, al Sistema General de Paquetes vía Radio (GPRS) para conexión a internet con objetivo de almacenar los datos dentro de una base, a manera de una historia clínica de los pacientes con enfermedades cardiovasculares. Conociendo como funciona este prototipo a 12V, se realizó pruebas colocándolo en otras condiciones, con valores desde 5V hasta 15V, analizando los resultados existe diversas reacciones con valores altos y bajos. Los pulsos cardiacos normales en seres humanos van de 60 a 100 pulsaciones por minuto, cuando el pulso está por debajo del rango mínimo es alerta bradicardia, por encima del rango máximo es alerta taticardia. Al término de esta investigación se concluye que este proyecto permite monitorear señales de pulso cardiaco, para obtener asistencia médica inmediata a personas con enfermedades cardiovasculares. Se recomienda a los usuarios mantenimiento adecuado del equipo, para su correcto funcionamiento al momento de utilizarlo.

PALABRAS CLAVE: <PROTOTIPO DE MONITOREO CARDIACO>, <POSICIONAMIENTO GLOBAL [GPS]>, <COMUNICACIÓN MÓVIL [GPRS]>, <SEÑAL DE PULSO CARDIACO>, <PLACA ARDUINO>.

ABSTRACT

Design and construction of a prototype for the wireless monitoring of the cardiac pulse in real time with GPS, carried out at the Chimborazo Higher Education Polytechnic School, Electronic Engineering School and in Industrial Networks Control, control lab. It is a prototype developed electing appropriate building elements, beginning taking cardiac pulse signals through the sensor located over the index finger on any hand, emitting pulses toward the Arduino Uno controller through cables to manipulate such a signal, using statements to program in the own plate language, based on C language, plus the help of the modules for Arduino GPS and GPRS, permitting connecting to the Global Positioning System (GPS) to locate the user to the Mobile Communication Global System as a link to cell telephones, emitting text messages with the global position and patient cardiac condition, depending on the pulse range, to the General System of Packs via Radio (GPRS) for internet connection to store data within a base, like a clinic history of patients with cardiovascular diseases. Knowing how this prototype functions at 12V, testing was carried out locating it under other conditions, with values from 5V up to 15V; analyzing the results there are diverse reactions with high and low values. The normal cardiac pulses en human beings are from 60 to 100 pulses per minute; when the pulse is lower than the minimum it is an alert bradycardia, above the maximum rang it is taticardia. At this investigation end, it is concluded that this project permits to monitor cardiac pulse signal to obtain immediate medical assistance for people with cardiovascular diseases. The users are recommended to give an adequate maintenance to the equipment for its correct functioning at the moment of using it.

KEY WORDS: <CADIAC MONITORING PROTOTYPE>, <GLOBAL POSITIONING (GPS)>, <MOBILE COMMUNICATION (GPRS)>, <CARDIAC PULSE SIGNAL>, <ARDUINO PLATE>.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La intensa competencia global y el rápido desarrollo de las tecnologías hacen que sea indispensable dar nuevos pasos en cuanto a la innovación, solo de esta forma se pueden cumplir de forma óptima las altas exigencias con respecto a la invención de nuevos dispositivos. Con la innovación aumenta la posibilidad de que las personas puedan emprender en nuevas cosas y tener nuevas oportunidades.

Las enfermedades cardiovasculares son la principal causa de muerte en el mundo. Aproximadamente en 2012 un 30% murieron debido a esta causa. Las muertes por enfermedades cardiovasculares, más del 80% se producen en países de ingresos bajos y medios. Se calcula que en 2030 morirán cerca de 23,3 millones de personas por estas enfermedades.

Desde hace mucho tiempo ha existido el estudio del comportamiento del ritmo cardiaco en seres humanos, tal es el caso de los pulsómetros que son aparatos electrónicos que principalmente miden de forma gráfica y digital la frecuencia cardiaca (pulsaciones por minuto) en tiempo real.

“IC-Life” plantea el desarrollo de una pulsera cardiaca que permite el control en tiempo real del pulso del deportista tanto profesional como amateur, que puede ser controlado a través de un sistema de monitorización.

En el Ecuador y en la ciudad de Riobamba, sigue siendo un tema de poco interés, debido a que existen pocos estudios relacionados con algún dispositivo para detectar problemas cardiacos.

En Ecuador, de cada 100.000 personas, 1.373 tienen problemas de hipertensión, así lo afirma el informe 2012 de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Justificación

Se desea aportar con un dispositivo que permita el monitoreo del pulso cardíaco en tiempo real en una persona, para determinar si presenta un problema cardíaco.

El prototipo se va a diseñar y construir con dispositivos electrónicos disponibles en el mercado y controlado por medio de un Arduino, para que se genere un mensaje de emergencia con el estado de los pulsos y la ubicación exacta, en caso de que el ritmo cardíaco este por debajo o por encima del normal, a varios teléfonos celulares dependiendo de un rango de pulsaciones en un intervalo de tiempo, además de enviar toda la información a un servidor gratuito de internet para crear un registro en una base de datos a manera de una historia clínica.

La construcción de este dispositivo es de gran ayuda para las personas con problemas cardíacos, para reducir el tiempo de asistencia médica por medio de un mensaje de emergencia automática.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar y construir un prototipo para el monitoreo inalámbrico del pulso cardíaco en tiempo real con GPS.

Objetivos Específicos

- Investigar el comportamiento del ritmo cardíaco de una persona, para determinar la consecuencia cuando el ritmo está por arriba de lo normal.
- Analizar y determinar los elementos electrónicos y complementos más idóneos para realizar el prototipo.
- Diseñar el prototipo y la interface de usuario utilizando el software idóneo para el trabajo.

- Construir el prototipo diseñado para el monitoreo del pulso cardiaco de una persona en tiempo real con posicionamiento global.
- Programar el algoritmo de control de tal manera que se genere un mensajes a tres celulares diferentes respectivamente, dependiendo del nivel de pulso que exista en la persona.
- Realizar las respectivas pruebas para conocer el correcto funcionamiento del prototipo.

Hipótesis

El diseño y la construcción del prototipo para el monitoreo inalámbrico del pulso cardiaco en tiempo real con GPS, enviará un mensaje a diversos teléfonos celulares dependiendo del nivel del ritmo cardiaco de la persona que utilice tal dispositivo, con la información de ubicación exacta y el estado del pulso cardiaco actual.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. El corazón

1.1.1. Definición

El corazón detallado en la figura 1 - 1 es la parte más perfecta en el cuerpo humano. Tiene el tamaño aproximadamente de un puño, tiene forma de pera y es hueco. Este músculo cardíaco, situado en medio del tórax, en el pecho del ser humano, funciona como una bomba. Recoge toda la sangre del organismo, que es pobre en oxígeno y la bombea hasta los pulmones, donde se oxigena y libera los desechos metabólicos, también llamados dióxido de carbono. Esta sangre rica en oxígeno va a ser distribuida desde el corazón hasta todos los órganos del cuerpo humano.

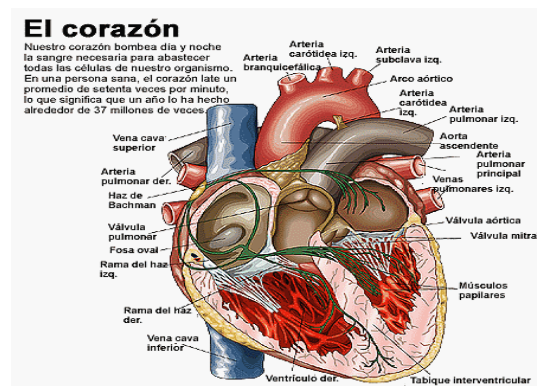


Figura 1-1. El Corazón

Fuente: <http://salud.bioetica.org/corazon.htm>

En la mujer el corazón suele ser más pequeño que en el hombre, por lo que late de 5 a 8 veces más por minuto.

1.1.2. Comportamiento de la frecuencia cardíaca

El número de contracciones del corazón en un minuto se conoce como frecuencia cardíaca (FC). Es fundamental saber su variación y valor por su utilidad para calcular el umbral anaeróbico y para la dosificación del ejercicio.

De acuerdo a la intensidad del ejercicio va incrementándose la FC. Los incrementos de la FC son menores, a partir del 75%-92% de la intensidad de trabajo, es decir, una disminución aparece en la respuesta cardíaca. Para autores como el profesor Conconi, esta zona de disminución, coincide con la zona del umbral anaeróbico, esto permite de forma muy sencilla determinar dicho umbral.

Hay que diferenciar entre la respuesta del individuo sedentario y la respuesta del individuo deportista. El deportista, con la misma intensidad de trabajo, posee una frecuencia menor. El deportista posee en general una frecuencia cardíaca en reposo menor. Y se presenta una FC menor, a base de mejorar el entrenamiento.

Se debe conocer ciertos aspectos de nuestro corazón para establecer unas bases sólidas de entrenamiento como por ejemplo: la frecuencia cardíaca máxima (FC_{máx}) y la frecuencia cardíaca en reposo (FCR).

Tomarnos el pulso es lo primero que debemos saber: en distintas partes del cuerpo puede tomarse el pulso, en el cuello sobre la arteria carótida, en el pecho, con un pulsómetro o en la muñeca, algo que no es muy recomendable.

1.1.3. Pulso

El pulso en una persona como consecuencia de la circulación de sangre bombeada por el corazón, es la pulsación provocada por la expansión de sus arterias. Por lo general se obtiene en partes del cuerpo donde se encuentran las arterias más próximas a la piel, como en el cuello, las muñecas o incluso en la sien.

Se mide el pulso manualmente con los dedos corazón e índice; con el dedo pulgar no se debe tomar el pulso, ya que puede interferir con la detección del pulso del paciente debido a que éste tiene

pulso propio. Cuando se palpa la arteria braquial, la carótida o la femoral podrían usarse también el pulgar. Esta técnica consiste en colocar cerca de una arteria los dedos y contra una estructura interna firme presionar suavemente, un hueso comúnmente, para sentir el pulso.

En un adulto el pulso normal en reposo (cuando estás descansando) puede ir desde las 60 hasta las 100 pulsaciones por minuto. Sin embargo, en un atleta o deportista bien entrenado el pulso en reposo, es mucho más bajo: va de 40 a 60. En adultos sanos un pulso bajo indica que el corazón está en forma y que trabaja más eficientemente.

- **Pulso radial**, situado en los brazos y en el lado más cercano al pulgar al lado de la muñeca (arteria radial).
- **Pulso ulnar**, más cercano al meñique en el lado de la muñeca (arteria ulnar).
- **Pulso carotídeo**, situado en el cuello (arteria carótida). Si se estimula los baroreceptores con una palpación vigorosa puede provocar bradicardia severa o incluso detener el corazón en algunas personas sensibles, por esta razón la carótida debe palparse suavemente. Además, en una persona las dos arterias carótidas para evitar el riesgo de síncope o isquemia cerebral, no deben palparse simultáneamente.
- **Pulso braquial**, situado entre el tríceps y el bíceps, usado frecuentemente en lugar del pulso carotídeo en infantes (arteria braquial), en el lado medial de la cavidad del codo.
- **Pulso femoral**, situado en el muslo (arteria femoral).
- **Pulso poplíteo**, en la fosa poplíteo bajo la rodilla.
- **Pulso dorsal del pie o pedio**, en el empeine del pie (arteria dorsal del pie).
- **Pulso tibial posterior**, bajo el maléolo medial detrás del tobillo (arteria tibial posterior).
- **Pulso temporal**, está situado directamente frente a la oreja sobre la sien (arteria temporal).
- **Pulso facial**, (arteria facial) está situado en el borde inferior de la porción ascendente del maxilar inferior o mandíbula.

La presión sanguínea del paciente determina esta facilidad para palpar el pulso en una persona. El pulso radial no será palpable si su presión sistólica está por debajo de 90 mmHg. El braquial no lo será por debajo de 80 mmHg. El pulso carotídeo no será palpable por debajo de 60 mmHg. La falta de pulso carotídeo suele indicar la muerte, dado que la presión sistólica raramente cae tan bajo. Sin embargo, se sabe de algunos casos en personas con enfermedades, ciertas heridas u otros problemas médicos que carecían de pulso palpable y estaban conscientes.

1.1.4. Enfermedades cardiovasculares

Todo tipo de enfermedades relacionadas con el corazón o los vasos sanguíneos (arterias y venas), se refiere, al decir enfermedades cardiovasculares. Esto describe cualquier enfermedad que afecte al sistema cardiovascular, es utilizado para referirse comúnmente a aquellos relacionados con la arteriosclerosis (enfermedades en las arterias). Estas condiciones tienen tratamientos, causas y mecanismos similares. Las enfermedades cardiovasculares son tratadas por cirujanos cardiorrespiratorios, cardiólogos, neurólogos, cirujanos vasculares, y radiólogos de intervención, dependiendo del órgano y sistema tratado. Encontramos un considerable enlace entre estas especialidades y para ciertos procesos es común que estén en el mismo hospital, diferentes especialistas.

La mayoría de países lidian con crecientes y altas tasas de enfermedades cardiovasculares. Cada año más personas mueren por enfermedades del corazón que por el cáncer.

En Estados Unidos esta es la causa número uno de muerte y discapacidad y de la mayoría de países europeos. Los daños vasculares se acumulan desde la adolescencia haciendo los esfuerzos primarios necesarios desde la niñez según un amplio estudio histórico (PDAY). Murieron más de 17 millones de personas en el mundo a causas de enfermedades cardiovasculares en 2011, según un estudio reciente.

La fundamental causa (arteroesclerosis) está usualmente avanzada, para cuando los problemas del corazón son detectados, habiéndose desarrollado por décadas. Por lo tanto, hay mayor énfasis mediante la modificación de los factores de riesgo en la prevención de la arteriosclerosis, tales como el ejercicio, la alimentación sana y evitando el hábito de fumar.

- **El infarto de miocardio** aparece debido a la obstrucción de una arteria por un riego sanguíneo insuficiente.
- **La cardiopatía isquémica** es ocasionada por la arteriosclerosis de las arterias coronarias, las encargadas de proporcionar sangre al músculo cardíaco (miocardio). La arteriosclerosis coronaria es un lento proceso de acumulación de lípidos (grasas) y células inflamatorias (linfocitos) y la formación de colágeno.
- **La arritmia** es una alteración del ritmo cardíaco y algunos de los síntomas son, palpitaciones, mareo, síncope, dolor torácico y pérdida del conocimiento.

- **La muerte súbita** es la aparición inesperada y repentina de una parada cardíaca en una persona que se encuentra aparentemente en buen estado y sana.
- **Miocardiopatía**, es caracterizada por la afectación del músculo cardíaco y la miocardiopatía dilatada es la más frecuente. La insuficiencia cardíaca es uno de sus síntomas.
- **Insuficiencia cardíaca**, ocurre cuando el corazón no es capaz de bombear al resto del cuerpo suficiente sangre.
- **Las cardiopatías congénitas** son un conjunto de enfermedades producidas por defectos en la formación del corazón durante el periodo embrionario, caracterizado por la presencia de alteraciones estructurales del mismo.

En la adolescencia empiezan las enfermedades del corazón, según estudios basados en la población joven. El proceso de arteriosclerosis comienza en la infancia y se desarrolla en décadas. Las determinantes patobiológicas de esta arteriosclerosis demuestran que las lesiones internas aparecieron en todas las aortas en estudios basados en jóvenes y más de la mitad de arterias coronarias derecha en infantes de 7 a 9 años. Sin embargo, la gran parte de los adolescentes se preocupan más por accidentes, otras enfermedades como el VIH y cáncer que por estas enfermedades cardiovasculares. Es sumamente importante considerar que 1 de cada 3 personas mueren de complicaciones causadas por la arteriosclerosis. La prevención primaria es necesaria, con el fin de detener la gran ola de las enfermedades cardiovasculares. Ésta se inicia con la educación en las medidas para prevenir o revertir la enfermedad cardiovascular y la concientización de que esta enfermedad representa la mayor amenaza.

1.1.5. Señal del pulso cardíaco

Se conoce la importancia de tomarse el pulso y de tener un ritmo cardíaco regular. Pero se debe saber de qué se trata el ritmo cardíaco en realidad.

Pues bien, un impulso eléctrico se genera por medio de un grupo de células llamadas nódulos SA ver figura 2-1, que hace que el corazón se contraiga y se relaje para bombear sangre a todo el organismo. Esta carga de electricidad que dependerá de la demanda física de cada persona, tiene un ritmo determinado que estimula el músculo cardíaco.



Figura 2-1. Pulso Cardiac

Fuente: <http://www.arritmiasvenezuela.com/ritmo-cardiaco/>

El ritmo sinusal o normal lo registramos al tomar el pulso, debido a que la actividad eléctrica antes mencionada hace que el corazón produzca entre 60 y 100 latidos por minuto. Un ritmo que sea normal implica latidos sin pausas, regulares y constantes.

Pueden darse situaciones en las que ese ritmo se vea afectado ya sea por actividad, emociones fuertes, estrés o física. No obstante, esa alteración no involucra ningún riesgo para el individuo, por ende no es motivo de alarma. Sin embargo, si se siente que en reposo el corazón se salta un latido o da uno de más, es muy importante consultar a un médico de confianza. Aunque los latidos ectópicos generan incomodidad a la persona que lo siente, son muy comunes y no generan peligro.

En definitiva, el ritmo irregular es una señal de arritmias, mientras que el ritmo constante y regular anuncia que el corazón está sano.

1.2. Fundamentos electrónicos

Para la construcción de este prototipo para monitorear el pulso cardíaco, el cual es un dispositivo para adquisición de las señales provenientes del corazón, es necesario tener en cuenta varios factores, entre ellos están la etapa de pre amplificación de la señal, filtrado de la señal y conversión analógica digital. Antes de hablar de las etapas del prototipo, es conveniente definir algunos conceptos sobre electrónica.

1.2.1. Amplificador operacional

Es un circuito integrado que está compuesto por muchos transistores ver figura 3-1. Este circuito es bastante utilizado debido a su gran funcionabilidad en diferentes aplicaciones, se pueden utilizar en múltiples configuraciones y tienen la capacidad de realizar las operaciones aritméticas como son la suma, resta, integración y derivación. El diagrama de un amplificador se presenta en la Figura 3; en la cual se pueden observar las terminales con las que cuenta; V_{out} es la terminal de salida, V_- es la entrada no inversora, V_+ es la entrada inversora, mientras V_{s+} y V_{s-} son las terminales de alimentación, la V_{s-} es negativa y la V_{s+} es la alimentación positiva. Los amplificadores operacionales amplifican la diferencia de potencial que aparezca en sus terminales V_+ y V_- dando una ganancia A , idealmente infinita; $V_{out} = A(V_+ - V_-)$.

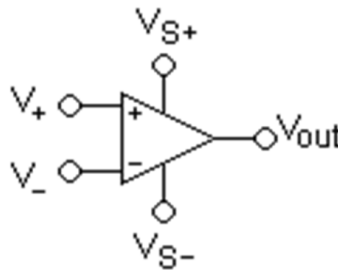


Figura 3-1. Diagrama del amplificador operacional

Fuente: http://www.profesormolina.com.ar/tutoriales/ampli_oper.htm

Para considerar un amplificador operacional ideal se debe tomar en cuenta las características siguientes: la corriente neta que entra al amplificador por las terminales inversora y no inversora es cero, ha esto se le llama, impedancia de entrada infinita; la impedancia de salida cero; la ganancia de modo común cero, esto quiere decir que si aplicamos voltajes iguales en las entradas, a la salida del amplificador se obtendrá cero; podemos amplificar el siguiente factor $(V_+ - V_-)$ a los valores infinitos, es decir, la ganancia de lazo abierto A es infinita; y el ancho de banda es infinito, esto es que los amplificadores operacionales ideales pueden amplificar las señales en los rangos de frecuencias de 0 hasta infinito teniendo una ganancia infinita. Pero se debe mencionar que estas características en realidad no pueden ser alcanzadas del todo, como ejemplo muy simple es que no podemos dar ganancias infinitas, debido a que el amplificador real solo se le puede dar una ganancia en función del rango de las fuentes de alimentación que tenga, dar una ganancia infinita vendría a ser fuentes de alimentación infinitas, lo cual no es posible ya en la práctica; además las impedancias de entrada infinitas, no es posible tampoco, aunque en el mercado hay amplificadores con

impedancias de entrada de varios cientos de mega ohms, con esto se pueden hacer un amplificador operacional ideal con características aproximadas.

1.2.1.1. *La configuración inversora*

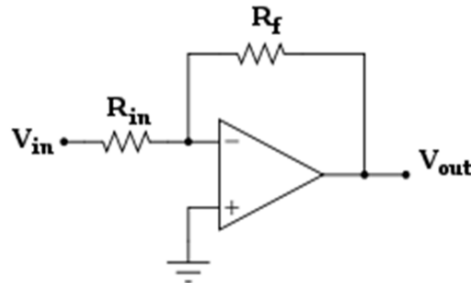


Figura 4-1. Diagrama de la configuración inversora

Fuente: http://www.profesormolina.com.ar/tutoriales/ampli_oper.htm

Este nombre se lo da debido a la operación que este realiza, en la figura 4-1 se muestra el diagrama; la configuración inversora presenta como salida un valor amplificado del voltaje de entrada V_{in} en base a la fórmula que se presenta a continuación:

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in} \quad \text{Ec. 1}$$

1.2.1.2. *Configuración no inversora*

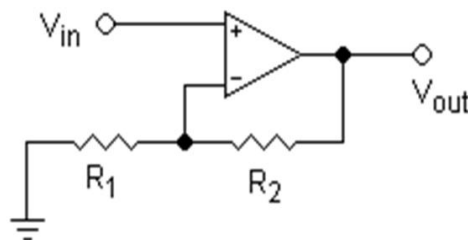


Figura 5-1. Diagrama de la configuración no inversora

Fuente: http://www.profesormolina.com.ar/tutoriales/ampli_oper.htm

La Figura 5-1 muestra la configuración no inversora. Y lleva este nombre puesto que la salida V_{out} presenta como resultado un valor amplificado del voltaje de entrada (V_{in}) con respecto a la fórmula siguiente:

$$V_{out} = \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) V_{in} \quad Ec. 2$$

1.2.1.3. *El seguidor de voltaje*

Esta configuración de seguidor de voltaje es muy simple, el voltaje de salida es el mismo que el voltaje de entrada, se puede decir que la salida sigue a la entrada. La configuración de seguidor de voltaje se muestra en la figura 6-1.

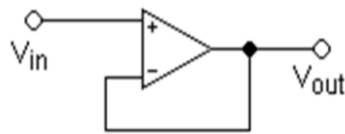


Figura 6-1. Diagrama de la configuración seguidor de voltaje

Fuente: http://www.profesormolina.com.ar/tutoriales/ampli_oper.htm

1.2.1.4. *Rectificador de media onda de precisión*

Este circuito conocido como rectificador es aquel que convierte los componentes negativos en una señal a componentes positivos; podemos encontrar dos tipos de rectificación: rectificación de media onda y rectificador de onda completa, el primero conserva los componentes positivos de la señal, pero el de onda completa convierte los componentes negativos de la señal de entrada a positivos, dejando los componentes positivos sin modificaciones, a continuación se presentan los diferentes tipos de rectificación a través de la figura 7-1.

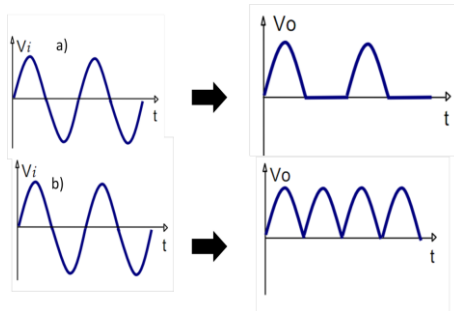


Figura 7-1. a) Representación del proceso de rectificación de media onda b) Proceso de rectificación de onda completa

Fuente:

http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_electronica_3/electronica_indice.html

El súper diodo de precisión como se le llama también al rectificador de media onda, recibe este nombre porque presenta comportamiento como un diodo normal pero sin la pérdida de 0.7 v de voltaje, típico de los diodos, por eso de esta forma es capaz de rectificar la señal aplicada con la mayor exactitud. En la Figura 8-1 se muestra la configuración del circuito.

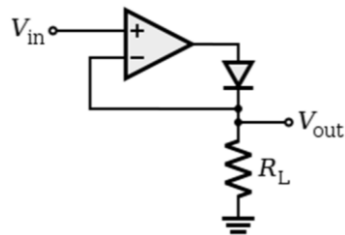


Figura 8-1. Diagrama esquemático de media onda de precisión

Fuente: http://www.profesormolina.com.ar/tutoriales/ampli_oper.htm

1.2.1.5. Circuito comparador

Cuando una señal está sobrepasando un nivel de voltaje específico, los circuitos comparadores son bastante utilizados para detectar este problema; al comparar el voltaje de la señal de entrada (V_{in}) versus el valor del voltaje de referencia (V_{ref}), su funcionamiento es bastante simple, solamente cambia la salida de los valores de saturación $-V_{sat}$ a $+V_{sat}$ a su salida cuando la señal V_{in} sobre pasa el límite que le impuso el voltaje de referencia V_{ref} (comparador no inversor) como se presenta en la figura 9-1. Es decir, el comparador tendrá apenas dos salidas:

$V_{out} = +V_{sat}$ cuando $V_{in} > V_{ref}$

$V_{out} = -V_{sat}$ cuando $V_{in} < V_{ref}$

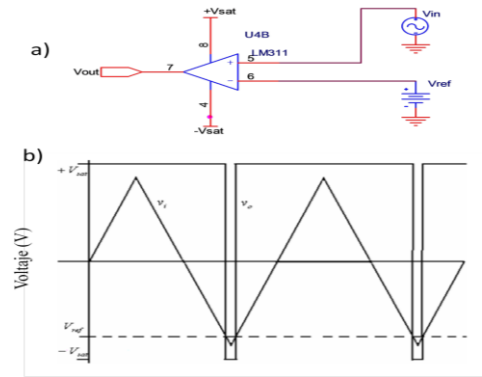


Figura 9-1. a) Circuito comparador de voltaje no inversor b) Cambio de estados de la salida del comparador según V_{in} con Respecto a V_{ref}
Fuente: <http://unicrom.com/comparador-con-amplificador-operacional/>

1.2.1.6. Circuito integrador

Este circuito que se le conoce como integrador es otra configuración del amplificador operacional como se muestra en la figura 10-1; el circuito presenta a la salida un voltaje proporcional al área bajo la curva del voltaje de entrada; en otras palabras, invertido en fase la integral del voltaje de entrada, esto es porque que la configuración de amplificador es la configuración inversora.

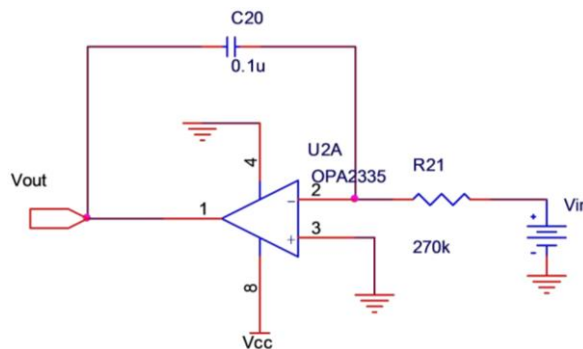


Figura 10-1. Configuración del amplificador operacional como integrador

Fuente: http://cvb.ehu.es/open_course_ware/castellano/tecnicas/electro_gen/teoria/tema-6-teoria.pdf

1.3. Amplificadores de instrumentación

Es un amplificador diferencial tensión-tensión cuya ganancia puede establecerse de forma muy precisa y que ha sido optimizado para que opere de acuerdo a su propia especificación aún en un

entorno hostil. Es un elemento esencial de los sistemas de medida, en los que se ensambla como un bloque funcional que ofrece características funcionales propias e independientes de los restantes elementos con los que interacciona. Ver figura 11-1.

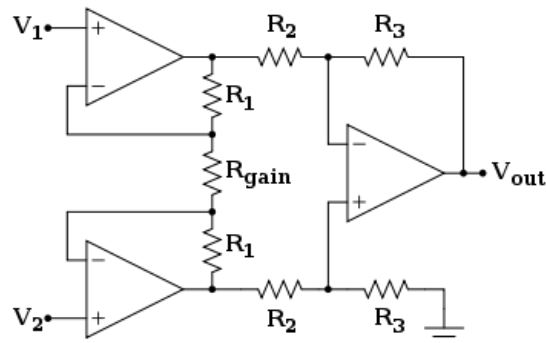


Figura 11-1. Diagrama del amplificador de instrumentación

Fuente: http://www.ctr.unican.es/asignaturas/instrumentacion_5_it/iec_3.pdf

1.3.1. Aplicaciones

- Para acondicionar la salida de un puente de Wheatstone.
- Para amplificar señales eléctricas biológicas (por ejemplo en electrocardiogramas).
- Como parte de circuitos para proporcionar alimentación a corriente constante.
- En fuentes de alimentación.

1.4. Sensores

Un sensor es un dispositivo con la capacidad de detección de magnitudes químicas o físicas, que se las llama variables de instrumentación, y se las transforma en variables eléctricas. Estas variables de instrumentación pueden ser: intensidad lumínica, temperatura, aceleración, distancia, torsión, desplazamiento, inclinación, presión, fuerza, pH, humedad, movimiento, etc. Una resistencia eléctrica es una magnitud eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una corriente eléctrica (como en un fototransistor), una tensión eléctrica (como en un termopar), etc.

El sensor está siempre en contacto con la variable de instrumentación esa es una diferencia con el transductor, por esta razón puede decirse que es también un dispositivo que aprovecha una de sus

propiedades con el objetivo de que se pueda aprovechar la señal por parte de otros dispositivos adaptando la señal medida. Se puede decir que un sensor también es un dispositivo con la capacidad de convertir una forma de energía en otra.

Existen algunas áreas en donde se pueden aplicar los sensores: robótica, industria automotriz, industria de manufactura, medicina, industria aeroespacial, etc.

1.4.1. Sensores ópticos

Detectan la interrupción del haz de luz que llega al sensor, que se puede producir por algunos factores como la presencia de una persona o de un objeto.

Existen diversos sensores ópticos en el mercado, pero los más importantes son las fotorresistencias, las LDR.

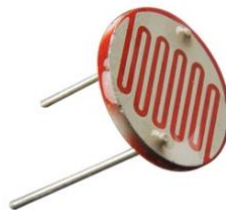


Figura 12-1. LDR

Fuente: <http://projectshopbd.com/product/ldr/>

Sabemos que estos sensores se tratan de resistencias cuyo valor disminuye con la influencia de la luz, de tal manera que cuando reciben un haz de luz permiten que la corriente eléctrica pase por el circuito de control. La LDR figura 12-1 aumenta la resistencia e interrumpe el paso de la corriente a través del circuito de control, en el momento que una persona o algún obstáculo interrumpen el paso de la luz.

En robótica se utilizan mucho las LDR debido a su amplia utilidad, para la regulación de los movimientos de los robots y para detener el movimiento cuando van a encontrarse con algún obstáculo que los interrumpa o a su vez encender algún tipo de alarma. Además sirven para la regulación de la iluminación artificial cuando existe la luz natural.

Se puede mencionar un ejemplo muy simple sobre un circuito para controlar el encendido de una alarma cuando disminuimos la intensidad de luz que incide sobre un LDR.

Desempeño y funcionamiento de los sensores ópticos

Los sensores ópticos son todos aquellos que son capaces de detectar diferentes variables por medio de un lente óptico. Podemos mencionar muchos tipos de sensores ópticos en nuestra vida cotidiana, pero podemos mencionar un buen ejemplo de sensor óptico en los mouse de computadores, los cuales todos conocemos su funcionamiento de mover el cursor cuando lo deslizamos. Pero además debemos tener en cuenta que estos sensores pueden también utilizarse para para otros factores tales como leer y detectar información, como los sensores de velocidad en las carreteras o a su vez si un billete está marcado o es falso.



Figura 13-1. Sensor óptico

Fuente: <http://www.antirrobo.net/sensores/sensores-opticos.html>

Es importante decir que los sensores ópticos figura 13-1 son muy sensibles y es por esta razón que la mayoría de estos sensores no duran mucho tiempo. Además cabe mencionar que a pesar de la utilidad que se les pueda dar a estos sensores, es un dispositivo muy básico con respecto a otros sensores.

En el ámbito de la seguridad puede darse un uso muy importante, para la detección de intrusos en la entrada de una casa por ejemplo, o sea puede reemplazar a un sensor de proximidad, pero debemos saber también que estos sensores son muy fáciles de burlar por los delincuentes y esa es una de las

desventajas más grandes que nos pueden causar muchos problemas en este aspecto de seguridad. Pero, los sensores ópticos pueden resultar un excelente complemento al momento de utilizarlos con otro tipo de sistemas de seguridad, pero debemos tener en cuenta siempre que lo correcto es asesorarnos correctamente con expertos en estos sistemas para que de esta forma el sistema que queramos instalar sea el correcto y el más seguro.

Es muy importante decir que algunos tipos de estos sensores para los sistemas de seguridad poseen en algunos de ellos un mecanismo que mide la distancia, que a su vez se puede regular, es decir podemos programar a estos tipos de sensores para que cumplan con la función de detectar a los intrusos a una cierta distancia de la vivienda en que se los coloque. Aunque se debe considerar que no todos los sensores ópticos tienen la capacidad de ser programados, así que se debe averiguar previamente el funcionamiento de los que se usará. Los sensores ópticos por ser muy básicos, son muy poco utilizados en seguridad, aunque se lo puede enfocar en otra áreas muy importantes como en el área de la biomédica para detectar algunas señales de nuestro cuerpo como en el caso de los pulsos cardiacos, por medio del paso de la sangre a través del haz de luz que emiten estos sensores. Pero debemos tomar en cuenta una desventaja muy importante acerca de este tipo de sensores, su vida útil es considerablemente corta.

TIPOS DE SENSORES OPTICOS

Los tipos de sensores ópticos que podemos mencionar son:

Foto-interruptores de Barrera

Estos sensores figura 14-1 están constituidos por un emisor de infrarrojos y un fototransistor, estos están separados por medio de una abertura en donde se colocará un elemento mecánico para producir un corte en el haz de luz que se emite por el emisor y se recibe en el receptor del sensor.



Figura 14-1. Foto-interruptor de barrera

Fuente: <http://es.slideshare.net/pdiazcolli/tipos-y-funcionamiento>

Foto-interruptores Reflectivos

Estos sensores ópticos figura 15-1 están formados por un emisor y un receptor de infrarrojos que se encuentran ubicados tanto el emisor como el receptor en el mismo plano de superficie, que por efecto de reflexión permiten la detección de dos tipos de colores, que pueden ser el blanco y el negro normalmente, sobre algún elemento mecánico.

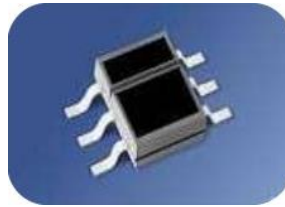


Figura 15-1. Foto-interruptor reflectivo

Fuente: <http://es.slideshare.net/pdiazcolli/tipos-y-funcionamiento>

Enconders Ópticos

Encoders Incrementales

Este tipo de mecanismo nos permite saber que su funcionamiento es que un sensor óptico detecte el número de segmentos de los cuales consta el disco del encoder y que el otro sensor detecte la posición cero del disco mencionado. Ver figura 16-1.

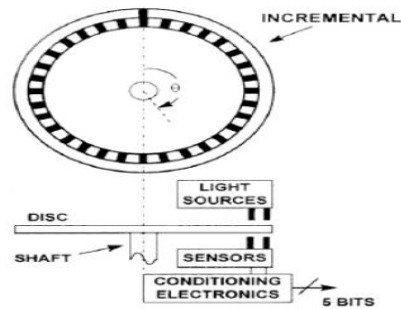


Figura 16-1. Encoder incremental

Fuente: <http://es.slideshare.net/pdiazcolli/tipos-y-funcionamiento>

Encoders Absolutos

Este mecanismo nos permite saber cuál es la posición exacta a cada instante sin la necesidad de tener que dar una vuelta completa para la detección del punto cero del disco mencionado. Existe una diferencia, la cual consiste en lo siguiente, es necesaria la utilización de algunos sensores ópticos y el disco debe tener algún tipo de codificación. Ver figura 17-1.

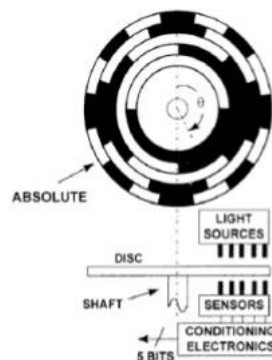


Figura 17-1. Encoder absoluto

Fuente: <http://es.slideshare.net/pdiazcolli/tipos-y-funcionamiento>

1.4.2. Pulsómetro

Es un aparato electrónico que mide principalmente de forma gráfica y digital la frecuencia cardíaca (pulsaciones por minuto) en tiempo real. Se los llama también monitores de frecuencia cardíaca.

Para los aficionados al deporte es una forma sencilla de mantener el régimen de pulsaciones dentro de los límites aconsejados. Para los deportistas profesionales se hace casi imprescindible, a fin de conocer si están trabajando en la zona que el entrenador les ha exigido. Para personas con problemas cardiacos o que hayan sufrido una arritmia o un ataque de corazón y hayan empezado a andar todos los días, el pulsómetro le puede servir para mantener el corazón a las pulsaciones recomendadas por el médico.

Constan del visualizador, que normalmente es como un reloj de pulsera y la banda que se coloca en el pecho. La banda es como un cinturón que se coloca en el pecho que es el conteo los latidos y pasa la información al reloj. Para evitar interferencias si realizas entrenamientos con más personas que usan pulsómetros es imprescindible que la información pase codificada.

Para ciclistas los pulsómetros vienen muy completos, unos solo miden la velocidad de marcha y otros que también marcan la cadencia del pedaleo. Incluso los modelos más caros dan información meteorológica tales como presión (altura) y temperatura.

Ayuda a controlar la frecuencia de trabajo para la intensidad de la zona del entrenamiento. Por ejemplo si queremos que un ciclista, corredor o nadador realice diez series de tres minutos en forma de aeróbico intenso, y mediante test de campo hemos calculado que el aeróbico intenso de ese deportista es del 85% de su frecuencia cardiaca máxima. Mediante la lectura de los datos del pulsómetro el deportista y su entrenador sabrán si está cumpliendo el objetivo impuesto.

Los pulsómetros son cada vez más completos, exactos, seguros y fiables. Y podemos encontrar con otros sistemas de control del entrenamiento, que pueden ir desde acelerómetro, cuenta pasos, temperatura y presión atmosférica.

Si se requiere un control total del entrenamiento ya como deportista o como entrenador se debería buscar un pulsómetro con posibilidad de conexión al ordenador (PC). Estos pulsómetros tienen prefijados el test de entrenamiento y nos construyen gráficas y nos ofrecen multitud de datos para tener un control total de lo realizado.

Está saliendo al mercado para la alta competición nuevos pulsómetros que controlan la velocidad de desplazamiento mediante gps y se conectan al ordenador vía UBS inalámbrica.

1.5. Amplificación bioeléctrica

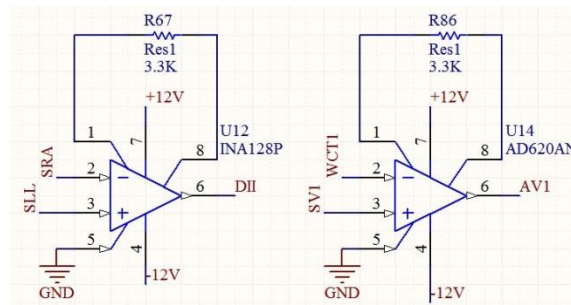


Figura 18-1. Etapa de pre amplificación

Fuente: <http://ittybyte.wordpress.com/2008/01/20/biometric-heart>

Para esta etapa de pre-amplificación figura 18-1 se pueden usar algunos tipos de amplificadores de instrumentación. El INA128P de Burr-Brown y los AD620AN de Analog Devices, fueron sometidos a pruebas para poder hacer una comparación en la calidad de la señal y saber cuál de los dos integrados nos arroja mejores resultados.

En la presente etapa se hace una pre-amplificación de la señal electrocardiográfica, es recomendable que no se utilicen ganancias altas debido a que se pueden saturar los amplificadores de instrumentación, pues debemos saber que al amplificar la señal también se amplificar el ruido que siempre está presente en toda señal aunque sea mínimo y por ende no se podría obtener la señal final correcta que necesitamos.

El objetivo principal para utilizar los mencionados amplificadores es la de eliminar o rechazar la señal del común, estos amplificadores de instrumentación en gran manera disminuyen el ruido presente en la señal ecg.

Existen varias características con las que debe contar un amplificador de este tipo y son las que se mencionan a continuación:

- Bajo el voltaje offset.
- La impedancia de entrada es alta.
- Protección contra las tensiones.
- Alta relación de rechazo en modo común.
- Una buena respuesta en las frecuencias.
- Las corrientes de polarización en la entrada son bajas.

1.5.1. Filtrado analógico

Para que exista un buen filtrado en la señal que proviene del corazón, de deben tener en cuenta ciertos factores, que son parámetros muy importantes para un correcto funcionamiento del filtrado y se los describe a continuación.

- Un rango de amplitud que va desde los 500uV a 5mV, con una componente DC de $\pm 300\text{mV}$.
- Tanto para ergometría y para monitoreo el rango de las frecuencias utilizadas se encuentran entre los 0.5Hz y los 50Hz.
- Para el diagnostico el rango de las frecuencias van desde 0.05Hz hasta los 100Hz.

Las frecuencias anteriores son las comunes usadas para los equipos que trabajan con señales del pulso cardiaco que se pueden encontrar en el mercado, a continuación se presentará tabla 1-1 con el contenido del rango de frecuencias comunes en las bioseñales.

Tabla 1-1: Rango de frecuencias utilizadas en bioseñales

BIOSEÑAL	DEFINICION	RANGO AMPLITUD	RANGO FRECUENCIA
Electrocardiograma (ECG)	Actividad eléctrica cardiaca	0.5 - 4 mV	0.001 – 250Hz
Electroencefalograma (EEG)	Actividad eléctrica cerebral	5 - 300 uV	DC – 150Hz
Electrogastrograma (EGG)	Actividad eléctrica gástrica	10uV - 1 mV	DC – 1Hz
Electromiograma (EMG)	Actividad eléctrica muscular	0.1 - 5 mV	DC – 10KHz
Electroneurograma (ENG)	Actividad eléctrica nerviosa	0.01 - 3 mV	DC – 1KHz
Electrooculograma (EOG)	Potencial retina córnea	50 - 3500 uV	DC – 50Hz
Electrorretinograma (ERG)	Actividad eléctrica de la retina	0 - 900 uV	DC – 50Hz
Fonocardiograma (PCG)	Sonidos cardiacos	80 dB (rango dinámico) 100uPa (umbral)	5 – 2000Hz

Realizado por: Juan Gallo, 2016

1.5.2. Digitalización de la señal

El proceso de la digitalización de la señal proveniente del corazón se lo hace por medio de un convertidor analógico-digital, que viene incorporado al Arduino, pero es muy conveniente mencionar un convertidor comúnmente utilizado, para conocer su funcionamiento. Un ADC comúnmente vienen incorporados en los microcontroladores para que realicen este proceso de transformación, en primer lugar se debe tomar una muestra de la señal analógica, o sea hacer un sampling llamado así por sus siglas en inglés, el cual consiste en tomar varias muestras diferentes, es decir valores de voltaje de la señal en distintos puntos de esta, a una frecuencia que generalmente se la llama frecuencia de muestreo y se la mide en hercios (Hz), el periodo de muestreo es el inverso de la frecuencia y además es el tiempo que hay entre una muestra y otra $T = 1/f_s$, este período se mide en segundos (s). Se debe tener en cuenta muchos criterios acerca de la frecuencia de muestreo para sea correcto el muestreo.

Luego de haber realizado el muestreo de la señal, lo siguiente que se debe hacer es definir un valor discreto correspondiente a la amplitud de voltaje de la señal que se digitalizó, y por último se codifica la señal, es decir, se debe representar los valores numéricos en códigos y estándares establecidos, el código binario es el que se usa más comúnmente, la figura 19-1 nos muestra un diagrama ilustrativo acerca del proceso de conversión analógico digital.

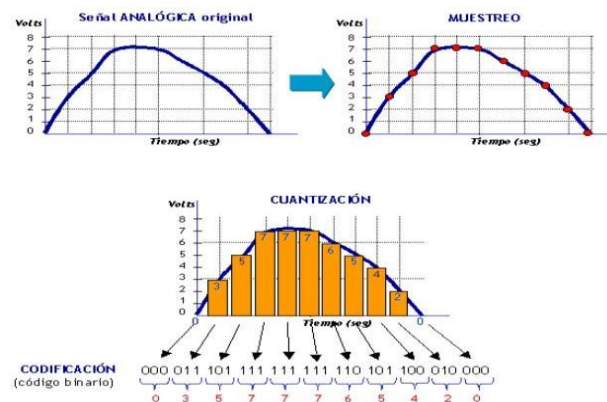


Figura 19-1. Proceso de digitalización de una señal analógica

Fuente: <https://wordpress.com/2009/03/27/proceso-de-digitalizacion-de-la-senal-analogica/>

1.5.3. Filtrado digital

Un filtro es un proceso mediante el cual alteramos la naturaleza de una señal de una manera u otra, esto consiste en un proceso o algoritmo que hace una transformación de la primera señal digital en una segunda señal digital.

Este algoritmo o proceso se lo puede implementar mediante microcontroladores de la gama de tipo media, como los son los pic 18F, debido a que estos tienen una buena velocidad de procesamiento y módulos internos útiles para la realización del procesamiento de señales de forma digital.

A los microcontroladores se los utiliza para trabajar con las señales de frecuencia baja, en la cual no se necesita mayor capacidad o velocidad en el procesamiento como lo son las bioseñales que funcionan con los rangos de las frecuencias bajas por lo general, cuando se trata de velocidades de procesamiento altas para el tratamiento de las señales se recomienda usar los DSC como lo son los dsPic, o se utilizan los DSP.

Existe un proceso para el tratamiento digital de las señales y se muestra a continuación en la figura 20-1.

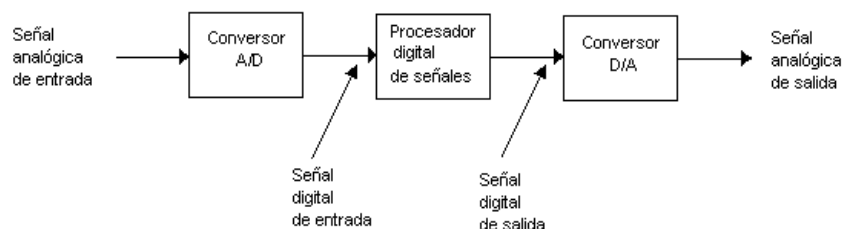


Figura 20-1. Diagrama de bloques del tratamiento digital de señales

Fuente: <http://platea.pntic.mec.es/~lmarti2/compact.htm>

En el bloque del medio es en donde se realiza el procesamiento o tratamiento de la señal, mediante una función de transferencia de puede realizar algún tipo de proceso que se quiera realizar con la señal digitalizada, como un tipo de filtro digital que se le puede implementar en el microcontrolador.

1.6. GPS (sistema de posicionamiento global)

Al sistema GPS lo constituyen 24 satélites y utiliza triangulación para determinar la posición.

En la tabla 2-1 se muestran las características técnicas, prestaciones del GPS.

Tabla 2-1: Características, técnicas y prestaciones GPS

SEGMENTO	PARTE	CARACTERISTICAS
SEGMENTO TERRESTRE	Sistema de satélites	24 unidades con trayectorias sincronizadas. La energía eléctrica la adquieren de celdas solares adosados a sus costados.
	Estaciones terrestres	Información de control a los satélites para controlar las órbitas y realizar el mantenimiento de toda la constelación.
	Terminales receptores	Indican la posición. Se las adquiere en las tiendas especializadas.
	Satélites en la constelación	Numero: 24 (4×6 órbitas) Altitud: 23.200 km Período: 11 h 56 min Inclinación: 55 grados Vida útil: 7,5 años
	Segmento de control	Estación principal: 1 Antena de tierra: 4 Estación monitora: 5
	Señal RF	Frecuencia Civil - 1575,42 MHz. Frecuencia Militar – 1227,60 MHz. Nivel de potencia de la señal: –160 dBW. Polarización: circular dextrógira.
	Exactitud	Posición: oficialmente indican aproximadamente 15 m (en el 95% del tiempo). Hora: 1 ns
	Cobertura	Cobertura: mundial
	Capacidad de usuarios	Capacidad de usuarios: ilimitada
	Sistema de coordenadas	Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84). Centrado en la Tierra, fijo.
	Integridad	tiempo de notificación de 15 minutos o mayor
	Disponibilidad	24 satélites (70%) y 21 satélites (98%).

Realizado por: Juan Gallo, 2016

1.6.1. Funcionamiento

La efemérides es la información que es útil al receptor GPS para determinar su posición. Cada satélite emite sus propias efemérides, en la que se incluye la salud del satélite, su hora atómica, información doppler, su posición en el espacio, etc.

Se determina la posición del receptor Mediante la trilateración:

Cada satélite nos indica que el receptor se encuentra en algún punto en la superficie de la esfera, con el centro en sí mismo y el radio la distancia total hasta el receptor.

Si obtenemos información de dos satélites queda determinada una circunferencia resultado de cuando se intersecan estas dos esferas en algún punto en el cual se encuentra el receptor.

Si tenemos información acerca de un cuarto satélite, se podría eliminar el inconveniente de la falta de sincronización q hay entre los relojes de los satélites y los relojes de los receptores GPS.

Posicionamiento con GPS

Esto significa proporcionar la información sobre la longitud y latitud del punto en el que nos encontramos sobre la superficie de la tierra. Por lo tanto, la gran parte de receptores nos proporcionan los valores de las coordenadas en unidades de grados ($^{\circ}$) y minutos ($'$). Debido a que la latitud y la longitud son ángulos, se miden con respecto a un 0° de referencia bien definido.

Latitud: Hemisferios Norte y Sur

Con respecto al Ecuador se mide la latitud (latitud 0°). Si cualquier punto determinado se encuentra en el hemisferio sur o norte, su coordenada de latitud irá acompañada de la letra S o N. Existe otro

tipo de nomenclatura que se refiere latitudes sur con números negativos y latitudes norte con números positivos.

Longitud: Este, Oeste

Se mide relativa al meridiano de Greenwich. Escribimos la letra E (W) acompañando al número que da la longitud, si medimos un ángulo al este (oeste) del meridiano de Greenwich. También se usan números negativos. Estos siguientes valores de longitud son equivalentes: W 90°; E 270°; and -90°.

Hoja de Trabajo: "Viendo" Satélites

Hablaremos de la visibilidad de un satélite, en este Experimento de Cartografiado Global. Utilizamos los términos "visibilidad" y "ver" en un sentido de que la visión no se encuentra obstruida. No se quiere decir que se pueda ver el satélite si levantamos nuestra mirada hacia arriba. En cuanto un satélite se "pone" en el horizonte ya no es visible y para poder "verlo" de nuevo debemos esperar a que salga de nuevo por el horizonte.

Edificios, árboles y demás obstáculos pueden interponerse entre un satélite y un receptor determinados, no sólo el horizonte puede obstruir la visión. Debemos intentar tener siempre una buena visibilidad del cielo cuando utilicemos receptores GPS.

1.6.2. Integración con telefonía móvil

Actualmente como parte del desarrollo del mercado de la telefonía móvil la tendencia es la de integrar diferentes aplicaciones que faciliten el alcance de la tecnología a las personas, por parte de

los fabricantes y la tecnología GPS dentro de sus dispositivos es uno de estos avances tecnológicos. El uso en gran cantidad del GPS está particularmente extendido a través de los teléfonos móviles inteligentes, lo que ha hecho que surjan muchos tipos de software para este tipo de dispositivos, además de nuevos modelos de negocios que van desde el uso del terminal móvil para la navegación tradicional punto-a-punto hasta la prestación de los llamados Servicios Basados en la Localización (LBS).

Uno de los mejores ejemplos sobre el uso del GPS en la telefonía móvil son las aplicaciones que nos permiten saber la posición de amigos o familiares en un mapa base. Para esto basta con tener la respectiva aplicación para la plataforma que nosotros más nos convenga como: Android, Bada, IOS, WP, Symbian, y permitir ser localizado por otros dispositivos.

1.7. GSM

El sistema global para las comunicaciones móviles (Global System for Mobile communications), GSM, es un sistema estándar libre de regalías, de telefonía móvil digital.

Un cliente GSM puede conectarse a través de su teléfono con su computador y enviar y recibir mensajes por correo electrónico, faxes, navegar por Internet, acceder con seguridad a la red informática de una compañía (red local/Intranet), así como utilizar otras funciones digitales de transmisión de datos, incluyendo el servicio de mensajes cortos (SMS) o mensajes de texto.

GSM se considera, por su velocidad de transmisión y otras características, un estándar de segunda generación (2G). Su extensión a 3G se denomina UMTS y difiere en su mayor velocidad de transmisión, el uso de una arquitectura de red ligeramente distinta y sobre todo en el empleo de diferentes protocolos de radio (W-CDMA).

Al diseñar la estructura de red para un sistema de telefonía móvil, el problema a encarar es el de la limitación en el rango de frecuencias disponibles. Cada "conversación" (o cada cliente de tráfico de datos) requiere un mínimo de ancho de banda para que pueda transmitirse correctamente. A cada operador en el mercado se le asigna cierto ancho de banda, en ciertas frecuencias delimitadas, que debe repartir para el envío y la recepción del tráfico a los distintos usuarios (que, por una parte,

reciben la señal del otro extremo, y por otra envían su parte de la “conversación”). Por tanto, no puede emplearse una sola antena para recibir la señal de todos los usuarios a la vez, ya que el ancho de banda no sería suficiente; y además, deben separarse los rangos en que emiten unos y otros usuarios para evitar interferencias entre sus envíos. A este problema, o más bien a su solución, se le suele referir como reparto del espectro o control de acceso al medio. El sistema GSM basa su división de acceso al canal en combinar los siguientes modelos de reparto del espectro disponible. El primero es determinante a la hora de especificar la arquitectura de red, mientras que el resto se resuelve con circuitería en los terminales y antenas del operador:

- Empleo de celdas contiguas a distintas frecuencias para repartir mejor las frecuencias (SDMA, *Space Division Multiple Access* o acceso múltiple por división del espacio); reutilización de frecuencias en celdas no contiguas;
- División del tiempo en emisión y recepción mediante TDMA (*Time Division Multiple Access*, o acceso múltiple por división del tiempo);
- Separación de bandas para emisión y recepción y subdivisión en canales radioeléctricos (protocolo FDMA, *Frequency Division Multiple Access* o acceso múltiple por división de la frecuencia);
- Variación pseudoaleatoria de la frecuencia portadora de envío de terminal a red (FHMA, *Frequency Hops Multiple Access* o acceso múltiple por saltos de frecuencia).

La BSS, capa inferior de la arquitectura (terminal de usuario – BS – BSC), resuelve el problema del acceso del terminal al canal. La siguiente capa (NSS) se encargará, por un lado, del enrutamiento (MSC) y por otro de la identificación del abonado, tarificación y control de acceso (HLR, VLR y demás bases de datos del operador).

Por otra parte, las comunicaciones que se establezcan viajarán a través de distintos sistemas. Para simplificar, se denomina canal de comunicaciones a una comunicación establecida entre un sistema y otro, independientemente del método que realmente se emplee para establecer la conexión. En GSM hay definidos una serie de canales lógicos para el tráfico de llamadas, datos, señalización y demás propósitos.

1.8. Microcontrolador

Un microcontrolador (abreviado μ C, UC o MCU) es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador tiene tres partes fundamentales: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida.

Algunos microcontroladores pueden utilizar palabras de cuatro bits y funcionan a velocidad de reloj con frecuencias tan bajas como 4 kHz, con un consumo de baja potencia (mW o microvatios). Por lo general, tendrá la capacidad de mantenerse a la espera de un evento como pulsar un botón o de otra interrupción; así, el consumo de energía durante el estado de reposo puede ser sólo de nanovatios, lo que hace que muchos de ellos sean muy adecuados para aplicaciones con batería de larga duración. Otros microcontroladores pueden servir para roles de rendimiento crítico, donde sea necesario actuar más como un procesador digital de señal(DSP), con velocidades de reloj y consumo de energía más altos.

Cuando es fabricado el microcontrolador, no contiene datos en la memoria ROM. Para que pueda controlar algún proceso es necesario generar o crear y luego grabar en la EEPROM o equivalente del microcontrolador algún programa, el cual puede ser escrito en lenguaje ensamblador u otro lenguaje para microcontroladores; sin embargo, para que el programa pueda ser grabado en la memoria del microcontrolador, debe ser codificado en sistema numérico hexadecimal que es finalmente el sistema que hace trabajar al microcontrolador cuando éste es alimentado con el voltaje adecuado y asociado a dispositivos analógicos y discretos para su funcionamiento.

1.9. Arduino

Arduino es una plataforma de electrónica abierta para crear prototipos que se basan en hardware y software flexibles y que son fáciles de utilizar. Este fue creado para personas comunes como diseñadores, artistas, aficionados y cualquiera persona interesada en la creación de objetos o entornos interactivos.

Este dispositivo al ser de hardware abierto, el diseño y la distribución son de libre acceso. O sea que se puede utilizar con libertad, para desarrollar cualquier tipo de proyecto sin adquirir licencia alguna.

Cabe destacar que el proyecto Arduino en 2006 recibió una mención de honor en la categoría de Comunidades Digital en el Prix Ars Electronica.

Desde hace algunos años atrás, exactamente en octubre de 2012, Arduino se usa además con microcontroladoras CortexM3 de ARM de 32 bits, habrá 5 que coexistirán con las más limitadas, además existen económicas AVR de 8 bits. Cabe mencionar que AVR y ARM no son plataformas compatibles a nivel binario, pero debemos conocer que se pueden programar con el mismo IDE del Arduino y también hacer programas que compilen sin algún tipo de cambio sobre las dos plataformas. Las microcontroladoras CortexM3 usan 3,3V, a diferencia de las demás placas con AVR que por lo general utilizan 5V. Se debe saber que ya antes hubo placas Arduino como la Arduino Fio con Atmel AVR a 3,3V y además hay compatibles con Arduino Nano y Pro como Meduino en el cual se puede conmutar el voltaje.

1.9.1. Definición y características del Arruino

La plataforma de Arduino es de hardware libre, es decir que sus especificaciones y sus diagramas esquemáticos son de acceso público, ya sea por algún tipo de pago o de la forma gratuita, que se basa en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, su diseño facilita el uso de la electrónica en los proyectos de tipo multidisciplinarios.

El microcontrolador de la placa Arduino es programado por medio del lenguaje de programación Arduino que se basa en Wiring y un entorno de desarrollo Arduino que se basa en Processing. Los proyectos que se realizan con Arduino pueden ponerse en práctica sin la necesidad de conectarlos a un computador.

El microcontrolador Atmel AVR se encuentra en una placa y puertos de entrada/salida, a esto se le llama hardware. Los microcontroladores que más se usan para Arduino son el ATmega8, Atmega168, Atmega328, Atmega1280 debido a su sencillez y a su bajo costo que nos permitirán el desarrollo de diseños diferentes múltiples. El software por otro lado consiste en un entorno de

desarrollo cuya implementación es el lenguaje de programación Processing/Wiring y además el cargador de arranque que se ejecuta en la placa.

1.9.2. *Funcionamiento*

Arduino puede obtener algunos datos del entorno por medio de sus entradas digitales y analógicas, con esto se pueden controlar motores, luces y otros actuadores electrónicos.

1.10. Sistemas embebidos

Un sistema embebido o también denominado empotrado se realiza en electrónica programable con recursos Hardware limitados, que por lo general debe reaccionar en tiempo real a sucesos externos del sistema. En numerosas ocasiones, el sistema es alimentado por una batería. Lo cual implica que el Firmware debe ser diseñado cuidadosamente para minimizar el consumo de energía.

Para el correcto desarrollo de un sistema embebido se requieren amplios conocimientos de informática, electrónica, física y al menos entender algunos aspectos de la especialidad en la que se utilizará el sistema embebido.

Los equipos que desarrollan sistemas embebidos se componen por profesionales en varias disciplinas, de acuerdo con el sistema en cuestión a desarrollar.

Características de los sistemas embebidos

Características Básicas:

- Número limitado de funciones predefinidas para actuar
- Fuente de alimentación limitada y la administración de energía efectiva

- Disponibilidad de recursos de reserva para situaciones inesperadas
- Funcionamiento en tiempo real (con mayor frecuencia)
- Periféricos de banda ancha y las interfaces

Interfaces

- Interfaces de operador (Humano- Interface máquina - HMI) – monitores, interruptores, botones, indicadores, emisores individuales o grupales de los diferentes tipos de señales, motores eléctricos, solenoides y otros.
- Interfaces eléctricas (interfaces con otros componentes y dispositivos): Interno - I2C, SPI, ISA y otros.

Plataforma de sistemas integrados

- El Microprocesador (MP o ?P) y los microcontroladores (MCU), que tienen menos poder de cómputo, pero varios periféricos
- Arquitecturas de base - Von Neumann and Harvard
- Utilizado ?P y MCU - CISC (Complex Instruction Set Computer) y más a menudo RISC (Reduced Instruction Set Computer)
- Popular RISC familias de procesos: ARC (ARC International), ARM (ARM Holdings), AVR (Atmel), PIC (Microchip), MSP430 (TI) y otros
- CISC CPUs: Intel y Motorola
- Por lo general en el interior hay una memoria caché y procesamiento canalización de instrucciones
- Memoria para datos e instrucciones: RAM, PROM - OTP (One-Time Programmable), EEPROM o memoria Flash
- Periféricos: General Purpose Input / Output - GPIO, temporizadores, ADC, DAC.

Comunicación

- RS-232, RS-422, RS-485, UART / USART (Receptor Universal Sincrono y Asíncrono / Transmisor)
- I2C (Circuito Inter-Integrado), SPI (Bus de Interface periférico en serie), SSC y ESSI (Interfaz mejorada serie síncrona), USB (Universal Serial Bus)
- Protocolos de comunicación de red: Ethernet, CAN (Controlador del área de red), LonWorks etc.
- Software: Popular OS - QNX4 RIOS, Linux embebido y Linux-base (Android, etc.), iOS, Windows CE, etc

Herramientas para probar y corregir (Depuración)

- JTAG (Joint Test Action Group) - una interfaz especializada para la prueba saturada PCB
- ISP (In-System Programming) - Programación de Circuito
- ICSP (circuito de programación en serie) - un método para la programación directa del microcontrolador, por ejemplo, de la serie PIC and AVR
- BDM (Modo de depuración de fondo) - utilizado principalmente en productos de Freescale
- IDE (Entorno de desarrollo integrado) - para el desarrollo de programas.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLOGICO

2.1. Introducción

Para la realización de este prototipo se empezó con la idea de crear un dispositivo que pueda ser innovador y al mismo tiempo sirva de ayuda a la sociedad, como es el caso de las personas con algún problema cardiovascular.

Después se buscó la forma de diseñar y construir este dispositivo con los elementos electrónicos idóneos para cumplir con las exigencias de este proyecto.

Para sensar el pulso cardiaco en la persona se tomó en cuenta varias opciones con las cuales se realizaron algunas pruebas, y al final la decisión fue utilizar un sensor que consiste en una pequeña plaqueta para tomar la señal de pulso cardiaco que proviene desde el dedo.

Luego se estudió la manera más idónea para controlar todo el prototipo, es decir el cerebro del sistema que fue diseñado, entonces se tomó en cuenta la versatilidad de ciertos controladores, como el caso de la placa de Arduino uno, con la cual se realizó el control de todo el dispositivo, por medio de la programación en lenguaje C, además fue incorporado un módulo GSM/GPRS y uno GPS de la misma plataforma de Arduino.

Por último se tomaron en cuenta los dispositivos encargados de presentar los resultados ante los usuarios, estos aparatos son el teléfono celular a través del cual se visualizan los mensajes de texto con la ubicación y estado de las personas, enviados desde el prototipo y el computador en el cual se almacenan en una base la información a manera de un registro de actividades.

En un diagrama de conexión expuesto a continuación en la figura 1-2 se entiende de mejor manera el proceso que realiza el prototipo, desde la entrada de la señal hasta la salida a los diferentes dispositivos, es decir existe una secuencia paso a paso del proceso que se está ejecutando a través de la programación.

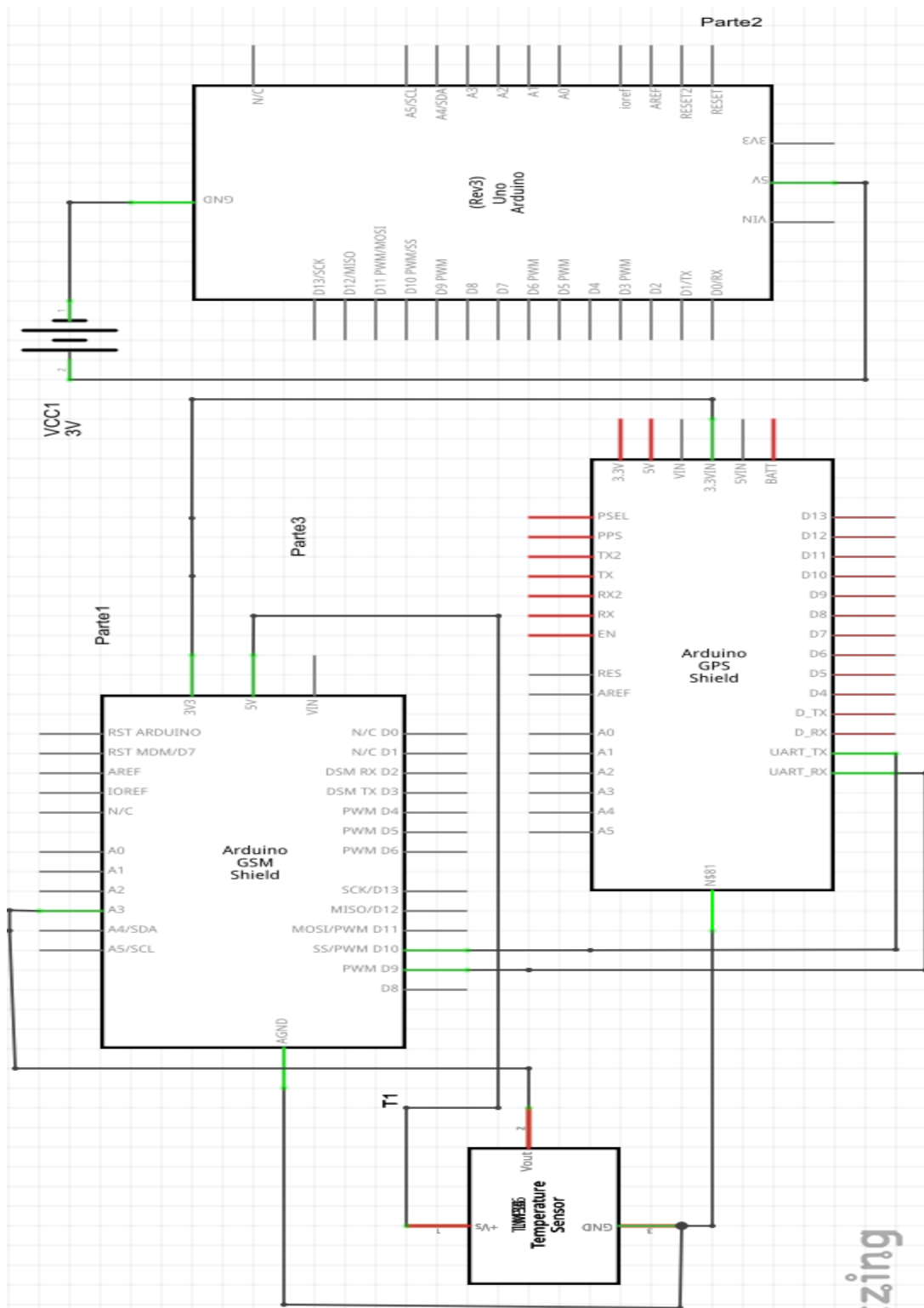


Figura 1-2. Diagrama de conexión del prototipo
Fuente: Gallo S. Juan S. (2016)

La imagen que muestra la Figura 2-2 es el diagrama de conexión del prototipo, realizado en fritzing programa usado para la realización de diagramas electrónicos, en el cual constan todas las conexiones de funcionamiento, desde la entrada como es el sensor de pulsos, pasando por la conexión entre placas, Arduino Uno, GPRS GSM SHIELD, módulo GPS, hasta finalmente conectar a una batería.

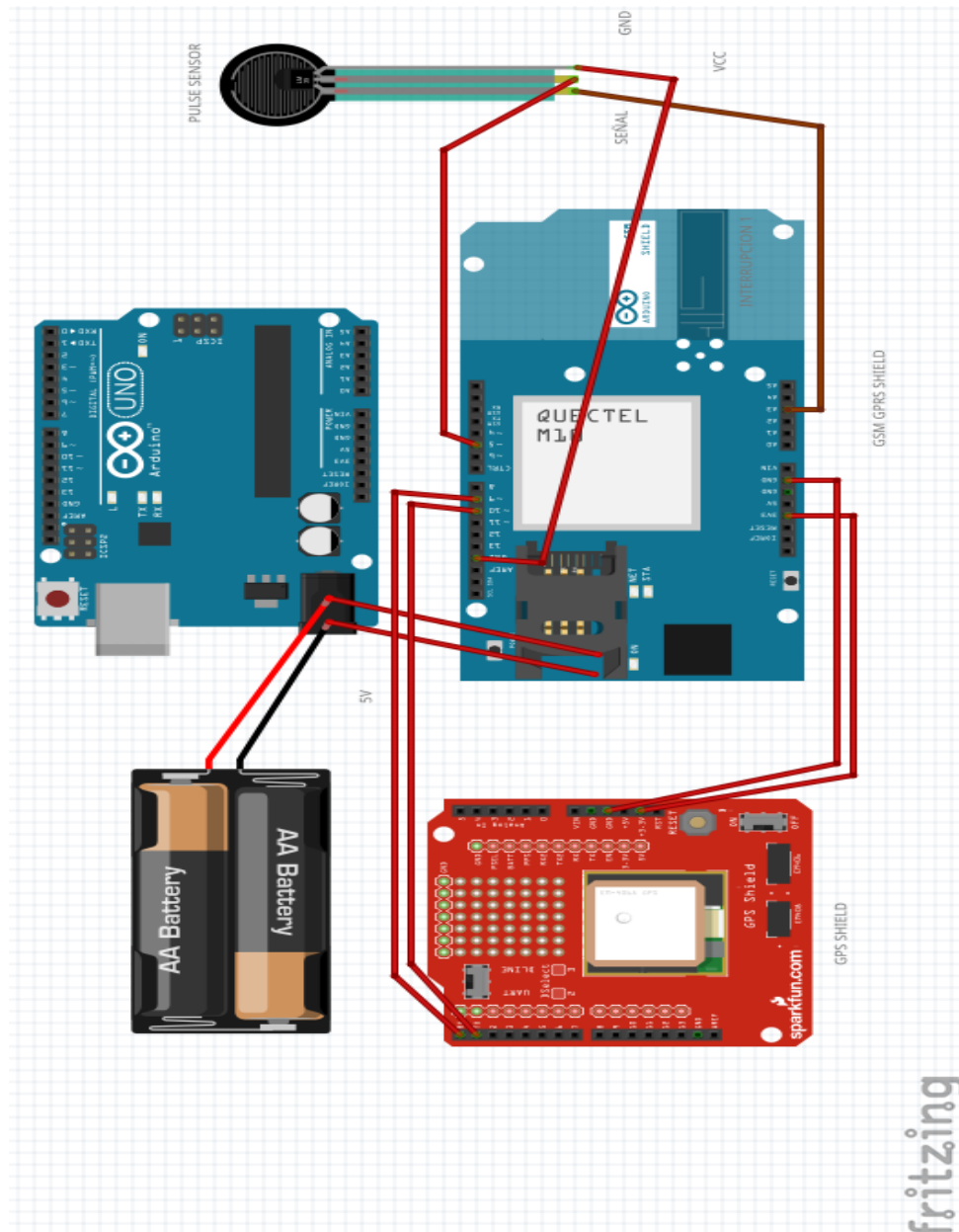


Figura 2-2. Diagrama gráfico de conexión del prototipo
Fuente: Gallo S. Juan S. (2016)

2.2. Selección del sensor

Tabla 1-2: Tabla de comparación de sensores

DISPOSITIVOS	CARACTERISTICAS	APLICACIONES	VENTAJAS Y DESVENTAJAS
SENSOR OPTICO	<ul style="list-style-type: none"> - Por emisión y recepción de luz. - Emisor y receptor tienen pequeñas lentes ópticas para concentrar el haz de luz. - Trabajan por reflexión de luz. - Las señales que se transmiten son luminosas 	<ul style="list-style-type: none"> - Micromecanizado láser - Micro fresado industrial - Dispositivos médicos 	<ul style="list-style-type: none"> - Muy económicos - Pequeños y de fácil configuración - Muy sensibles y por eso la mayoría de ellos no duran demasiado tiempo.
SENSOR ULTRASONICO	<ul style="list-style-type: none"> - Detectores de proximidad de objetos hasta 8m. - Emite un sonido y mide el tiempo que la señal tarda en regresar - Trabajan solamente en el aire y pueden detectar objetos con diferentes formas 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensores ultrasónicos de detección del nivel de llenado de productos a granel - Detección de altura del brazo en maquinaria agrícola - Sensores ultrasónicos en boquillas rociadoras 	<ul style="list-style-type: none"> - Posibilidad de detectar objetos frágiles. - Tienen una función de aprendizaje para definir el campo de detección - El problema que presentan estos dispositivos son las zonas ciegas
ELECTRODOS	<ul style="list-style-type: none"> - Es un conductor eléctrico utilizado para hacer contacto con una parte no metálica - Un electrodo en una celda electroquímica - Un electrodo bipolar funciona como ánodo en una celda y como cátodo en otra 	<ul style="list-style-type: none"> - Electroodos para detección del PH - Para aplicaciones biomédicas - Calderas, condensadores, tuberías cañerías, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> - Son de muy bajo costo. - Fácil de adquirir - Hay distorsión de la señal si no se usan filtros
SENSOR DE PULSOS	<ul style="list-style-type: none"> - Diámetro = 0.625 "(~ 16 mm) - Espesor total = 0.125 "(~ 3 mm) - Longitud del cable = 24 "(~ 609 mm) - Tensión = 3V a 5V - Consumo de corriente = ~ 4 mA a 5 V 	<ul style="list-style-type: none"> - Principalmente en biomédica - En electrocardiógrafos 	<ul style="list-style-type: none"> - Diodo de protección en la línea eléctrica - No se puede romper si se lo conecta al revés - Tiene un filtro activo para hacer la forma de onda de pulso más brillante

Realizado por: Juan Gallo, 2016

En la tabla 1-2 se ha realizado la comparación de diferentes dispositivos con los que se podía llevar a efecto la realización del prototipo, para analizar cada uno de estos elementos y tomar la decisión de escoger uno de ellos, es decir el más idóneo para que el presente proyecto se concluya con el éxito deseado. Al analizar la tabla anterior se ha llegado a la conclusión que para adquirir la señal del pulso cardíaco el sensor de pulsos es la mejor opción por todas las características que este presenta y su fácil utilización dentro de la aplicación, pero para más explicación a continuación se detalla todo cuanto a este dispositivo.

2.2.1. Introducción del sensor de pulsos

Se va hacer el control del paso de la sangre bombeada por el corazón para determinar el funcionamiento del corazón y ayudar a la asistencia inmediata de las personas que padecen enfermedades cardiovasculares. Sufrir modificaciones cuando el volumen de sangre bombeada por el corazón disminuye o cuando hay cambios en la elasticidad de las arterias.



Figura 3-2. Sensor de pulsos

Fuente: Gallo S. Juan S (2016)

El ritmo del pulso es la medida de la frecuencia cardíaca, es decir, del número de veces que el corazón late por minuto. Cuando el corazón impulsa la sangre a través de las arterias, éstas se expanden y se contraen con el flujo de la sangre, esto me permitirá tener la señal necesaria para posteriormente hacer el control del proyecto figura 3-2. Al tomar el pulso no sólo se mide la frecuencia cardíaca, sino que también puede indicar:

- El ritmo del corazón.
- La fuerza de los latidos.

El pulso normal de los adultos sanos oscila entre 60 y 100 latidos por minuto. Podría fluctuar y aumentar con el ejercicio, las enfermedades, las lesiones y las emociones. Las niñas a partir de los 12 años y las mujeres en general suelen tener el pulso más rápido que los niños y los hombres. Los deportistas, como los corredores, que hacen mucho ejercicio cardiovascular, pueden tener ritmos cardiacos de hasta 40 latidos por minuto sin tener ningún problema.

El pulso normal varía de acuerdo a diferentes factores; el más importante la edad ver tabla 2-2.

Tabla 2-2: Tabla de pulsaciones por edades

EDAD	PULSACIONES
Niños de Meses	130 a 140 Pulsaciones por minuto.
Niños	80 a 100 Pulsaciones por minuto.
Adultos	72 a 80 Pulsaciones por minuto.
Ancianos	60 o menos pulsaciones por minuto

Realizado por: Juan Gallo, 2016

Existen algunas formas de obtención de la frecuencia cardíaca y se puede tomar en cualquier arteria superficial que pueda comprimirse contra un hueso.

Tomar el pulso cardiaco es algo realmente sencillo, se puede tomar de muchas maneras y en diferentes lugares, sólo se debe medir el tiempo de los pulsos con un cronómetro. Pero si se desea grabar esa información o usarla para activar eventos, se necesita convertir esos pulsos mecánicos en señales eléctricas.

Este sensor se coloca sobre la yema del dedo y utiliza la cantidad de luz infrarroja reflejada por la sangre que circula por el interior y nos permite tomar la señal del pulso cardiaco desde cualquier dedo de ambas manos en una persona, pero para la realización de este prototipo se he tomado la señal desde el dedo índice de cualquier mano tanto derecha como izquierda, dependiendo de la comodidad del usuario. El sensor permite enviar dicha señal hacia un controlador para un posterior tratamiento y control con otros dispositivos explicados más adelante.

2.2.2. Pulso sensor

El sensor de pulso se hace con Diseño Spark, un circuito gratuito editor de diseño esquemático y PCB, con las características de la tabla 3-2

Tabla 3-2: Tabla de características del pulso sensor

CARACTERISICA	ESPECIFICACION
Diámetro	0.625 "(16 mm)
Espesor veral O	0.125 "(3 mm)
Longitud del cable	24 "(609 mm)
Tensión	3V a 5V
Consumo de corriente	4 mA a 5 V

Realizado por: Juan Gallo, 2016

Se está utilizando un sensor de luz ambiental de Avago (APDS-9008) y con un verde brillante reverso MONTAJE LED de Kingbright (AM2520ZGC09). Posee un diodo de protección en la línea eléctrica, por lo que no se puede romper si lo conecta al revés, y un filtro activo para hacer la forma de onda de pulso más brillante y más fácil de encontrar para Arduino. EL Pulso Amped sensor posee un tamaño de 5/8". El cable es 24" de largo y tiene tres agujeros alrededor del borde exterior para coser en casi cualquier cosa, como muestra la figura 4-2.

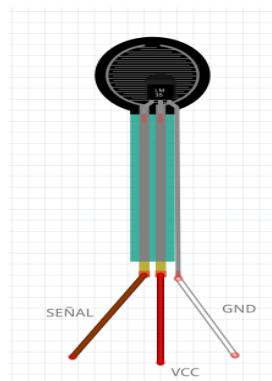


Figura 4-2. Diagrama de conexión del pulso sensor

Fuente: Gallo S. Juan S. (2016)

El efecto del filtro activo hace una gran diferencia en la apariencia de la forma de onda del pulso cardiaco. La versión de salida permeable hace de la forma de onda del latido del corazón un pequeño diente de sierra en olas en una tensión continua. La figura 5-2 muestra lo que parece desde el boceto del procesamiento anterior.

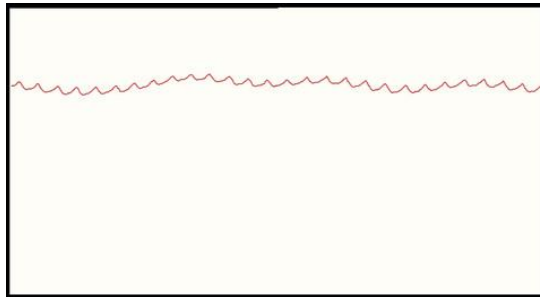


Figura 5-2. Forma de onda de la versión de salida permeable

Fuente: <http://pulsesensor.com/pages/open-hardware>

Se puede ver que el pulso está ahí, pero no es la señal más fácil de desentrañar con Arduino. La misma forma de onda de pulso cardiaco promedio de alrededor de 10 puntos altos, pero esa onda de diente de sierra está montando en una tensión de fluctuación continua. La nueva versión de hardware utiliza un filtro y un amplificador para aumentar la amplitud de la onda del pulso y normalizar la señal alrededor de un punto de referencia. Cuando el pulso sensor está sentado, no en contacto con ningún dedos u orejas u otras partes, la señal analógica se cierne en torno al punto medio de la tensión o $V / 2$. Cuando el Sensor de Pulso Amped está en estrecho contacto con la punta del dedo o lóbulo de la oreja (u otra parte) el cambio en la luz reflejada cuando bombea sangre a través de los tejidos hace que la señal fluctúa alrededor de ese punto de referencia. En la figura 6-2 la línea horizontal está en $V / 2$.

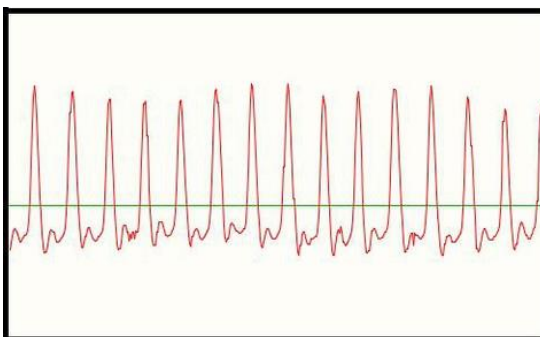


Figura 6-2. Forma de onda normalizada

Fuente: <http://pulsesensor.com/pages/open-hardware>

Arduino reloj es la señal analógica del sensor de pulso y decide si el pulso se encuentra cuando la señal se eleva por encima del punto medio. Ese es el momento en que sus tejidos capilares consiguen de golpe con una oleada de sangre fresca. Entonces, cuando la señal cae por debajo del punto medio, Arduino ve esto y se prepara para encontrar el siguiente pulso. Hemos construido en la histéresis de la salida y la caída de los umbrales que se puede ajustar si es necesario.

La intensidad de tensión Converter es un circuito Op Amp bien conocido que siempre utiliza un fotodiodo como fuente de corriente y se utiliza a menudo como punto de partida para el desarrollo de monitores de frecuencia cardíaca ópticos. Utilizando diferentes Amplificadores operacionales y fotodiodos, está diseñado un filtro universal de paso bastante bajo para la salida (RC pasiva R: 100 K: 4.7uF). El siguiente paso fue reducir el tamaño del hardware mediante el diseño de montaje de partes superficial. En nuestra búsqueda de fotodiodos SMT, nos encontramos con todo un montón de sensores de luz ambiental a menudo se utilizan en teléfonos y computadoras portátiles para ajustar el brillo del LCD. Estas cosas son sensibles al espectro visible, y debido a las necesidades de espacio en las computadoras de mano, que se integran fotodiodo / op red amp / retroalimentación en un pequeño paquete de Itsy Bitsy súper pequeño. Después de probar algunos modelos, se escogió el Avago APDS-9008, ya que tiene el mejor factor de forma para nuestras necesidades. La sensibilidad máxima para este sensor es 565 nm, por lo tanto, el LED es verde.

Había problemas con la otra parte de la superficie de montaje LEDs debido a que son en su mayoría más altos que el sensor, esto puede saturar al fotodiodo cuando el dedo se pone fuera de la alineación. Conseguir la colocación de los dedos en la forma exacta facilita el trabajo, pero ya era demasiado tedioso para el usuario. Resulta que Kingbright vende versiones para montar e invertir de su verde súper brillante estándar. En el reverso del montaje LED hay soldaduras en la parte posterior (duh) de la PCB y brilla a través de un pequeño agujero (2 mm). Esto significa que la única cosa en la parte superior del tablero, en la cara que pone el dedo, es el sensor. Con este diseño, podemos colocar el sensor muy cerca de la piel, bloqueando la luz ambiental, y se convierte en mucho más inmune al ruido resultantes del movimiento.

Se ha optimizado tanto para 5V y 3V. El circuito puede ser sintonizado por el cambio de R1 y R3. R1 determina la cantidad de corriente que va al LED, y R3 es la resistencia de carga en la salida APDS. Para optimizar para 5V, se utiliza mayor R1 y R3 superior (R1: 1K, R3: 22K). Para obtener los mejores resultados en 3V tweak para otro lado. El súper-brillo del LED saturará al sensor a corrientes más altas, y lo hace entrar en calor incluso cuando está funcionando a 20 mA.

El PCB 1/2 "de diámetro tiene 3 agujeros alrededor del borde exterior. Son de tamaño para las agujas de coser a mano.

El circuito en sí no consume mucha corriente (4,5 mA), pero no están expuestos a + V y contactos GND en la cara frontal. Si usted tiene aceites o sudor en su piel, hay un potencial para un corto débil que puede causar molestias. La salida del sensor también está expuesta y la humedad pueden poner un poco de ruido en la salida. Resolver este problema nos ha llevado muchas direcciones. Entramos en el reino de plástico líquido, con pobres resultados. Cualquier tipo de recubrimiento líquido (esmalte de uñas, epoxi, etc.) tendrá que ser agua clara, entonces las propiedades ópticas del material transparente puede refractar la luz del LED en forma devastadora. Nuestra solución actual a este problema es informarle al pegamento caliente la parte de atrás (donde se suelda el LED) para su montaje de elección. El pegamento caliente se puede sacar fácilmente si es necesario. Esto no es un hallazgo fácil en tiendas de suministros de oficina. Lo mejor que podemos afirmar es que se puede lograr algo que se asemeja a "la resistencia al agua " si se utiliza el método de pegamento adhesivo caliente. Hay otras maneras de sellar el circuito.

La figura 7-2 muestra la conexión del sensor de pulsos en la placa GPRS – GSM SHIELD de la siguiente manera: la señal está conectada al pin D3 que corresponde a la interrupción y la alimentación al pin GND y al pin Vcc 5V.

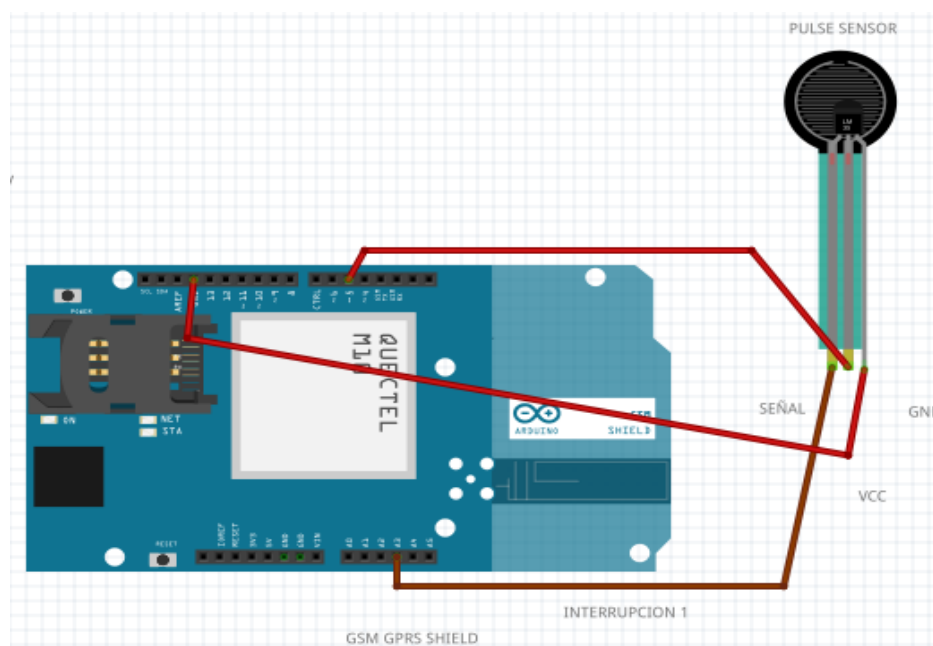


Figura 7-2. Diagrama de conexión del pulso sensor a la placa GPRS GSM SHIELD
Fuente: Gallo S. Juan S. (2016)

2.3. Selección del microcontrolador

Tabla 4-2: Tabla de comparación de los microcontroladores

DISPOSITIVOS	CARACTERISTICAS	APLICACIONES	VENTAJAS Y DESVENTAJAS
Microcontrolador PIC	Núcleos de CPU de 8/16 bits. Memoria Flash y ROM. Puertos de E/S. Temporizadores 8/16/32 bits. Periféricos serie. Conversores analógico/digital. Comparadores de tensión. Módulos de captura y comparación. Controladores LCD. Memoria EEPROM interna. Periféricos de control de motores. Soporte de interfaz USB. Soporte de controlador Ethernet. Soporte de controlador CAN. Soporte de controlador LIN. Soporte de controlador Irda.	Control de muchos procesos pequeños. Muy usados en robótica. Control de motores pequeños. Control de servomotores. Control de luces led en muchos procesos.	Muy económico y hay una gran gama. Muy ergonómico y se lo puede instalar en cualquier circuito. Muy frágiles al momento de grabar su programación. El tamaño de palabra es fuente de confusiones.
ARDUINO NANO	Atmel ATmega168 o ATmega328. Tensión de funcionamiento: 5 V Vi (recomendado): 7-12 V Vi (límites): 6-20 V. Digital pines I / O: 14 (6 PWM). Pines de entrada analógica: 8. Corriente DC Pin I / O: 40 mA. Memoria Flash: 16 KB (168) o 32 KB (328). SRAM: 1 KB (168) o 2 KB (328). EEPROM: 512 bytes (168) o 1 KB (328). Velocidad del reloj: 16 MHz. Dimensiones: 0,73 "x 1,70"	Una gran variedad de aplicaciones de todos los tipos. Usado en biomédica. - Se usa en robótica. - Usado para control de procesos automáticos.	Muchas instalaciones para comunicarse con oro dispositivo. El software incluye un monitor de serie. Puede programarse con el software Arduino. Muy frágiles por su tamaño. Más costosos que Arduino Uno y un tanto más difíciles de encontrar.
ARDUINO UNO	ATmega328. Tensión de funcionamiento: 5V Vi (sugerido): 7-12V Vo(límites): 6-20V. Digital pines I / O: 14 (6 PWM). Pines entrada analógica: 6 pines. Corriente DC I / O Pin: 40 mA. Corriente CC Pin 3.3V: 50 mA. Memoria Flash: 32 KB. SRAM: 2 KB. EEPROM: 1 KB. Velocidad de reloj: 16 MHz.	En biomédica para el control de las señales humanas. Se usa para el campo de la robótica. Usado control de procesos automáticos.	Muchas instalaciones para comunicarse con oro dispositivo. Se puede programar con software Arduino. No son muy costosos. Son muy fáciles de encontrar. Sencillos de programar.

Realizado por: Juan Gallo, 2016

El microcontrolador para el tratamiento de la señal del pulso cardíaco más idóneo para la realización del proyecto es la placa de Arduino Uno según muestra la tabla II.VI, por las características que presenta y su fácil utilización para esta aplicación, al compararlos con otras tecnologías similares, se puede entender cuál es su funcionabilidad, además de las ventajas y desventajas que este tiene con relación a dispositivos que realizan controles parecidos, para más explicación a continuación se detalla todo cuanto a este dispositivo.

2.3.1. *Introducción a la selección del microcontrolador*

La señal que se envía desde el pulso sensor a través de un cable conectado al Arduino Uno, es controlada por medio de la programación hecha en el mismo software de la placa, es decir se manipuló esta señal de tal manera que se llegue al objetivo del proyecto, controlar la señal de pulsos cardíacos, para el envío de mensajes de texto desde el dispositivo hasta el teléfono celular, dependiendo de un rango, el cual variara en cada persona, por su estatura, peso, estado físico, etc. Por tal motivo cada usuario podrá ingresar sus propios datos, como el rango de pulsos, con máximo un mínimo, los números de celular a los que se enviará el mensaje de texto

Dentro de este mensaje de texto, está el estado de la persona, es decir, el número de pulsos y un tipo de alerta escrita, por medio de la función GSM, además se envía la ubicación satelital, por medio de la programación GPS y se almacena toda esta información dentro de una base de datos en un servidor gratuito de internet por medio de la función GPRS, a manera de una historia clínica.

2.3.2. *Arduino uno*

Es una placa electrónica como la figura 8-2 que se basa en el ATmega328. Tiene 14 pines digitales de entrada / salida, de los cuales se pueden usar 6 como entradas analógicas, 6 como salidas PWM, un conector para la alimentación, un resonador cerámico de 16 MHz, una conexión para USB, un header ICSP y el botón para reinicio.

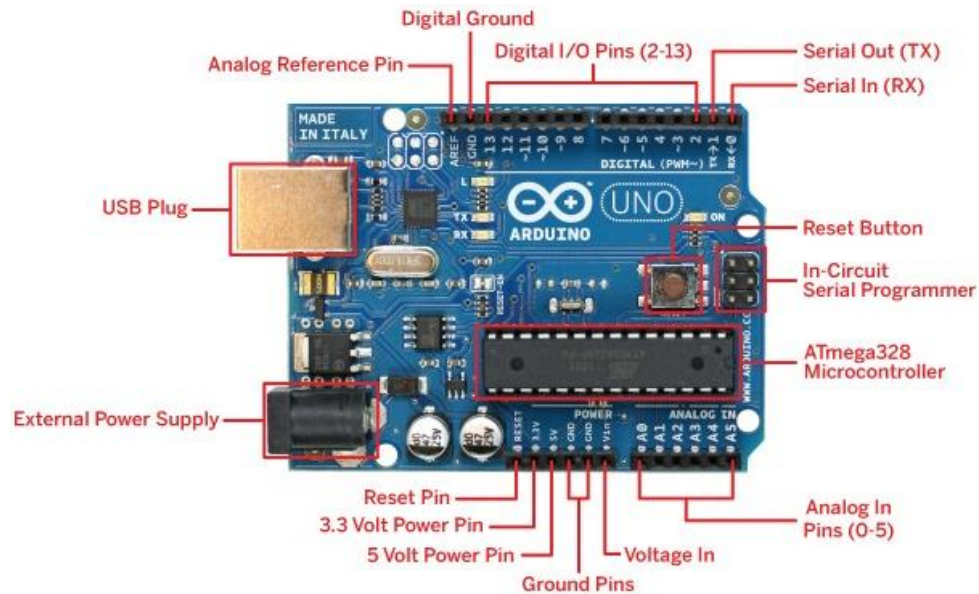


Figura 8-2. Diagrama de conexión de Arduino Uno

Fuente: <http://stl.janetti.perso.sfr.fr/arduino/presentation.html>

Se tiene las siguientes características nuevas de la junta:

- pinout: pines SCL que se encuentran cerca al pin AREF y SDA añadido y otros dos nuevos pernos que están ubicados cerca del pin RESET
- La instrucción IOREF permiten que los escudos se adapten a la tensión que proporciona la junta.
- Los escudos llegarán a ser compatibles tanto con el tablero que usa el AVR, que funciona a 5V y con el Arduino por la razón que funciona con 3.3V.
- El pin segundo no está conectado, debido a que está reservado para los futuros propósitos.
- El circuito de rearmado es más fuerte.
- El Atmega 16U2 sustituye al 8U2.

A continuación se presenan de manera más detallada las especificaciones de la placa de Arduino Uno en la tabla 5-2

Tabla 5-2: Tabla de especificaciones de Arduino Uno

CARACTERISTICA	ESPECIFICACION
Microcontroladores	ATmega328
Tensión funcionamiento	5V
Voltaje entrada (sugerido)	7-12V
Voltaje entrada (límites)	6-20V
Digital pines I / O	14 (6 proporcionan salida PWM)
Pines entrada analógica	6 pines
Crnte DC por I / O Pin	40 mA
Crnte CC para Pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB (ATmega328) 0,5 KB gestor de arranque
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Velocidad de reloj	16 MHz

Realizado por: Juan Gallo, 2016

2.3.2.1. Energía

A este Arduino se lo puede alimentar con una fuente externa o a través de la conexión USB. Se selecciona de forma automática la fuente de alimentación.

Con un adaptador de CA a CC (pared-verruga) o con una batería se puede obtener la potencia externa para la alimentación.

En un suministro externo de 6 a 20 voltios puede operar la junta. Al suministrar menos de 7V, el tablero puede ser inestable debido a que el pin de 5V puede suministrar menos de cinco voltios. Al utilizar más de 12V, se puede dañar la placa debido a que el regulador de voltaje puede sobrecalentarse. Por tal motivo existe un rango recomendado que va desde los 7 a los 12 voltios.

Dela siguiente manera se distribuyen los pines de alimentación:

- VIN: es el voltaje de entrada del Arduino al usar una fuente externa de alimentación (en vez de 5 voltios a la conexión USB u alguna otra fuente de alimentación regulada). Por medio de este pin se puede suministrar tensión o se puede acceder al suministro de tensión a través de la toma de poder, por medio de este pin.
- 5V: en este pin se da como salida 5V regulados en el tablero desde el regulador. Para la alimentación del tablero se puede usar el conector USB (5V), la toma de alimentación de CC (7 - 12 V), o el pin VIN de la junta (7-12V). No pasa por el regulador el suministro de voltaje a través de los pines de 5V o 3.3V y se puede dañar el tablero.
- 3V3: es un suministro de 3,3 voltios que se genera por el regulador de a bordo. La corriente máxima es de 50 mA.
- GND: son las clavijas de tierra.
- Instrucción IOREF: la referencia de la tensión con la que está operando el microcontrolador es proporcionada por este pin de la placa Arduino. El voltaje pin instrucción IOREF se puede leer a través de un escudo configurado y seleccionar la fuente adecuada de alimentación o permitir que puedan trabajar con el 5V o 3.3V los traductores de voltaje en las salidas.

2.3.2.2. Memoria

Tiene 32 KB el ATmega328, con 0,5 KB que se utilizan para el gestor de arranque. Para la EEPROM 1 KB, que se lo puede leer y escribir con la biblioteca de EEPROM y para la SRAM también tiene 2 KB.

2.3.2.3. Entrada y salida

En el Arduino Uno se puede usar como una entrada o salida cada uno de los 14 pines digitales, con estas funciones: digitalWrite (), utilizando pinMode () y digitalRead ().El voltaje de operación es de 5 voltios. Un máximo de 40 mA es lo que puede proporcionar o recibir cada pin y contiene internamente una resistencia pull-up (por defecto desconectada) de 20-50 kOhms.

Este Arduino presenta 6 entradas analógicas, que van desde la A0 hasta la A5, cada una proporciona 10 bits de resolución (1024 valores diferentes). Se miden desde el suelo a 5 voltios por defecto, aunque usando el pin AREF es posible cambiar el extremo superior de su rango y la función `analogReference()`. Algunos pines tienen funciones especializadas:

- TWI: son los pines A4 o A5 SDA y SCL o pin de apoyo de comunicación TWI usando la librería `Wire`.
- AREF: es el voltaje de referencia para las entradas analógicas. Se lo usa con `analogReference()`.
- Restablecer: esta línea LOW es para el reinicio del microcontrolador. Se usa normalmente para añadir un botón de reinicio a los escudos que bloquean el uno en el tablero.

2.3.2.4. Comunicación

Para la comunicación con un ordenador, otro Arduino u otros microcontroladores, esta placa tiene una serie de instalaciones. UART TTL (5V) de comunicación en serie ofrece el ATmega328, disponible en los pines digitales 0 (RX) y 1 (TX). El ATmega16U2 en los canales de mesa está comunicado en serie a través de USB y para el software en el ordenador aparece como un puerto COM virtual. Los controladores USB COM estándar son usados por el firmware 16U2 utiliza y no se necesita ningún controlador externo. Sin embargo, se requiere un archivo `.inf` en Windows. Se incluye un monitor de serie en el software de Arduino que permite a los datos textuales sencillos ser enviados desde y hacia la placa Arduino. Cuando se están transmitiendo datos a través del chip y conexión USB-USB a serie al ordenador los LEDs RX y TX en el tablero parpadean, pero no para la comunicación en serie de los pines 0 y 1.

En cualquiera de los pines digitales del Arduino Uno biblioteca se permite la comunicación en serie por medio de un `SoftwareSerial`.

También es compatible el ATmega328 con I2C (TWI) y la comunicación SPI. Para simplificar el uso del bus I2C el software de Arduino incluye una librería `Wire`. Se utiliza la librería SPI, para la comunicación SPI.

2.3.2.5. Programación

Con el software de Arduino se puede programar el Arduino Uno.

Un gestor de arranque viene precargado en los ATmega328 del Arduino Uno que permite cargar nuevo código a la misma sin el uso de algún programador de hardware externo. El protocolo original STK500Se se utiliza para la comunicación.

Se puede programar el microcontrolador a través de la cabecera ICSP (In-Circuit Serial Programming) utilizando Arduino ISP o algún similar y también se puede pasar por alto el gestor de arranque.

Para cargar un nuevo firmware se puede utilizar el software FLIP de Atmel (Windows) o el programador DFU (Mac OS X y Linux). O puede ser utilizado el encabezado ISP con un programador externo (se sobrescribe el gestor de arranque DFU).

En la figura 9-2 se detalla la conexión entre el Arduino Uno y la placa GPRS GSM SHIELD, con todos los pines de ambas placas conectadas, para el correcto funcionamiento de los dispositivos. Los 32 pines de la placa GPRS GSM SHIELD están conectados a los 32 pines de la placa de Arduino Uno, por ende la alimentación será la misma para ambas.

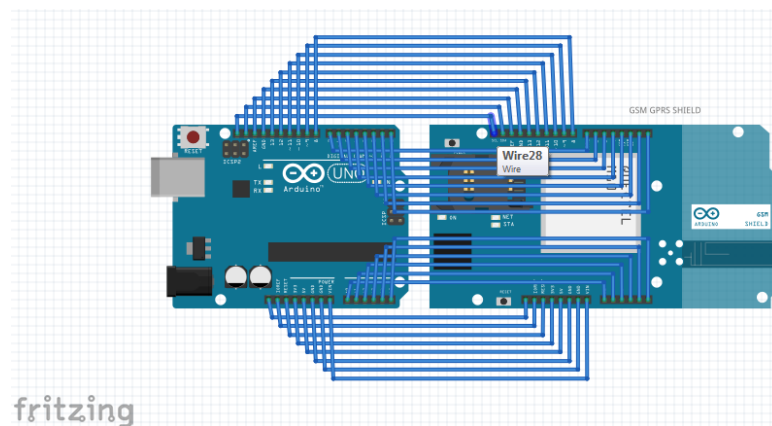


Figura 9-2. Diagrama de conexión de Arduino Uno con GPRS GPS SHIELD
Fuente: Gallo S. Juan S. (2016)

2.4. Selección de módulos para Arduino

Tabla 6-2: Tabla de comparación de módulos para Arduino

DISPOSITIVOS	CARACTERISTICAS	APLICACIONES	VENTAJAS Y DESVENTAJAS
GPS SHIELD	Slot para microSD Compatible con antenas normales o activas Interfaz UART Compatible con lógica de 3.3V/5V (seleccionable mediante interruptor) Temperatura de operación: -40 °C a +85 °C Basado en el chip GlobalSat EB-365 - SiRF Star III. Tracking de 20 satélites en simultáneo Protocolo NMEA 0183 v2.3	En placas Arduino para dotarlo de la capacidad de tener posicionamiento global	Incluye un slot para memoria microSD Registra datos asociados a la posición Requiere ser conectado a una antena externa
GSM Shield	5V Tensión de funcionamiento Conexión con Arduino Uno en los pines 2, 3 (Serial Software) y 7 (reajustar). Permite una placa Arduino se conecte a Internet, realizar / recibir llamadas de voz y enviar / recibir mensajes SMS. Utiliza un módem de radio M10 por Quectel Es posible comunicarse con la placa mediante comandos AT.	En placas Arduino para dotarlo de la capacidad de tener conexión con teléfonos celulares	Sencillas instrucciones para controlar a través de internet Elementos de hardware, software, documentación, es de libre acceso y de fuente abierta Requiere una placa Arduino
GPS/GPRS/GSM Shield V3.0	Fuente de alimentación: 6 a 12V Bajo consumo de energía (de 100mA a 7v – en modo GSM) La Quad-Band 850/900/1800 / 1900MHz GPRS de clase 10 multi-slot Soporte de Tecnología GPS para navegar por satélite Para GPS y GSM presenta una antenas SMD de alta ganancia Interruptor para control de Arduino USB La superficie del tablero: es de oro en la inmersión Su tamaño es de: 81x70mm	En placas Arduino para dotarlo de la capacidad de tener conexión con teléfonos celulares, conexión satelital para posicionamiento global y conexión a internet	Acceso a la navegación por satélite Conexión a teléfonos celulares Capacidad de conexión a internet Antena de alta ganancia SMD Conduce la función GPS y GSM directamente con Arduino y computador

Realizado por: Juan Gallo, 2016

Los módulo para Arduino por sus diferentes ventajas tanto en conexión para teléfonos móviles, conexión a internet y navegación satelital, aptos para las diversas instrucciones para satisfacer las necesidades de programación del prototipo como muestra la tabla 6-2 son el GPRS/GSM V2 Shield y el ublox gy-gps6mv2 por las características que estos presentan y su utilización relativamente sencilla para la aplicación, a continuación se detalla todo cuanto a estos dispositivos.

2.4.1. Introducción a los módulos para Arduino

Existe una gran gama de módulos compatibles con la plataforma de Arduino, que realizan muchas funciones, para complementar su trabajo y tener un alcance más amplio de aplicaciones sobre control de procesos automáticos y el manejo de diversas instrucciones.

Al realizar la investigación de los diferentes dispositivos compatibles con Arduino y otros, existen muchas funciones con estos elementos, las placas GPRS/GSM V2 Shield y ublox gy-gps6mv2, satisfacen las necesidades de realizar las instrucciones idóneas para cumplir con los requerimientos de los usuarios que tendrán este dispositivo y facilitar la asistencia médica inmediata en caso de emergencia.

Por medio de la función GPS se puede realizar navegación satelital, es decir ubicar a cualquier persona que esté utilizando este prototipo, por medio del posicionamiento global a través de los satélites.

La función GSM permite el enlace con telefonía móvil, es decir se puede hacer llamadas desde el dispositivo hasta un teléfono celular o enviar mensajes de texto cuando se cumpla con una condición específica dentro de la programación de Arduino.

GPRS permite en cambio la conexión a internet, de manera inalámbrica, lo que facilita la conexión con un ordenador para el almacenamiento de los mensajes de texto, de manera muy similar a realizar una historia clínica, pero de manera automática cada vez que sea necesario el monitoreo de las personas con enfermedades cardiovasculares.

2.4.2. GPRS/GSM Shield V2.

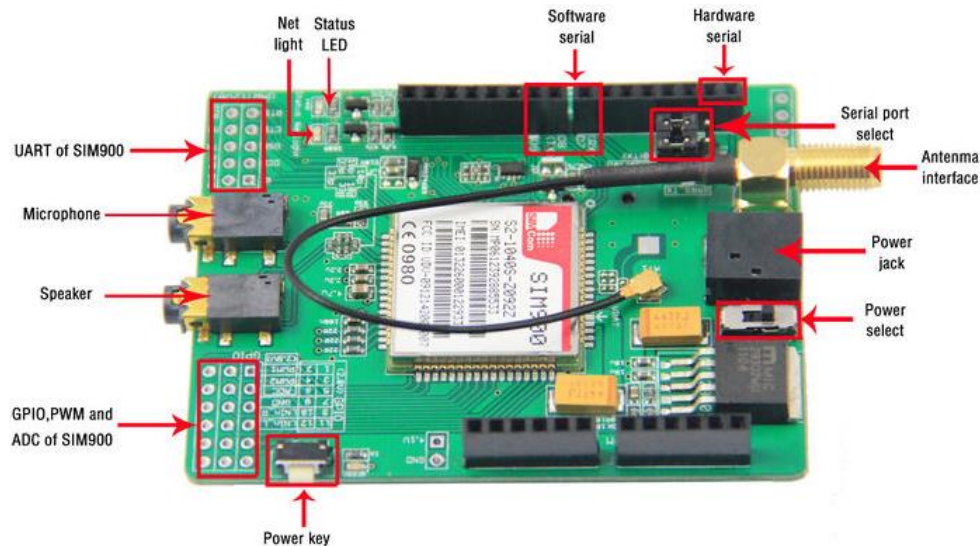


Figura 10-2. Diagrama de conexión del GPRS/GSM Shield V2

Fuente: http://www.geeetech.com/index.php/Arduino_GPRS_Shield

El Arduino GSM - GPRS Shield v2 figura 10-2 tiene la capacidad de enviar y recibir SMS, realizar y recibir llamadas de voz y de datos. El modulo utiliza el GPRS, que es una red inalámbrica de datos con una cobertura muy amplia al rededor del mundo para realizar conexiones a Internet.

El modulo posee un adaptador para tarjetas SIM, se colocó una tarjea SIM de la operadora CNT ya que el modulo no está bloqueado y se puede utilizar con cualquier proveedor de telecomunicaciones, lo que permite adquirir un plan de datos y tarjeta SIM de cualquier operador.

Características:

- Alimentación: 5V (suministrados desde la placa Arduino)
- Conectividad: Redes GSM y GPRS
- Funcionalidades: SMS, llamadas telefónicas, datos GPRS
- Conexión Arduino con Softserial
- Conector de antena SMA hembra

2.4.3. ublox gy-gps6mv2

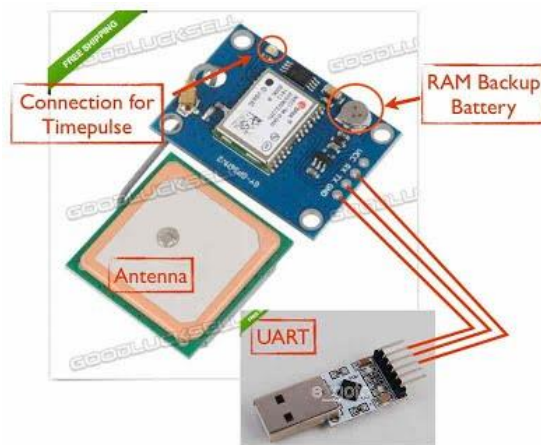


Figura 11-2. Diagrama de conexión de ublox gy-gps6mv2

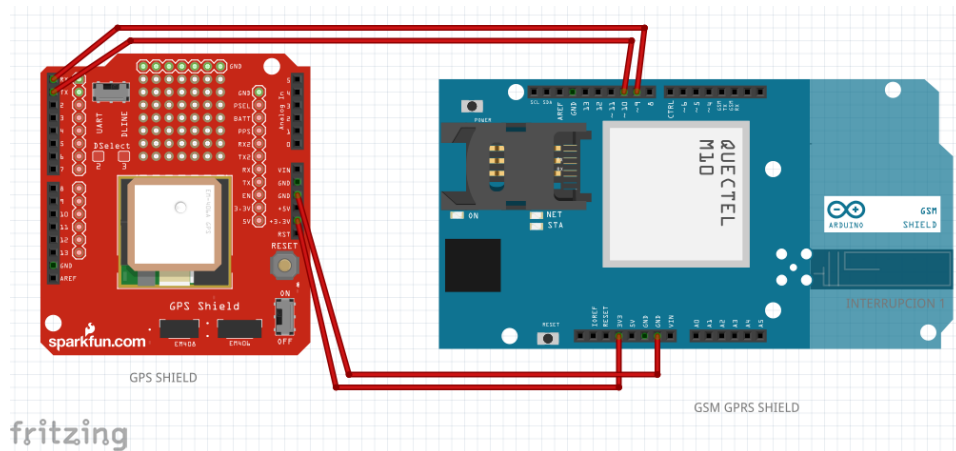
Fuente: https://sites.google.com/site/g4zfqradio/u-blox_neo-6-7

La serie NEO-6 módulo figura 11-2 es una familia de stand-alone GPS receptores que ofrecen el alto rendimiento u-blox 6 motor de posicionamiento. Estos receptores flexibles y rentables ofrecen numerosas opciones de conectividad en una miniatura 16 x 12,2 x 2,4 mm paquete. Su arquitectura compacta y opciones de energía y de memoria hacen NEO-6 módulos ideal para la batería operada dispositivos móviles con muy estrictas limitaciones de coste y espacio.

El u-blox 6 motor de posicionamiento 50 canales cuenta con un Time-To-First-Fix (TTFF) de menos de 1 segundo. El dedicado motor de adquisición, con 2 millones de correlacionadores, es capaz de búsquedas paralelas masivas espacio de tiempo / frecuencia, lo que le permite encontrar satélites al instante. Diseño y tecnología innovadora suprime las fuentes de interferencia y mitiga los efectos de trayectoria múltiple, dando a los receptores GPS NEO-6 excelente performance de navegación, incluso en los entornos más difíciles.

La conexión del ublox gy-gps6mv2 se la realiza como muestra la figura 12-2 de la siguiente manera: la señal se conecta a los pines D9 y D10 respectivamente, la alimentación se conecta a GND y 3.3V.

Esta conexión nos permite que el prototipo realice la función de ubicación mediante los satélites, a través de la programación que realizada en el software de Arduino.



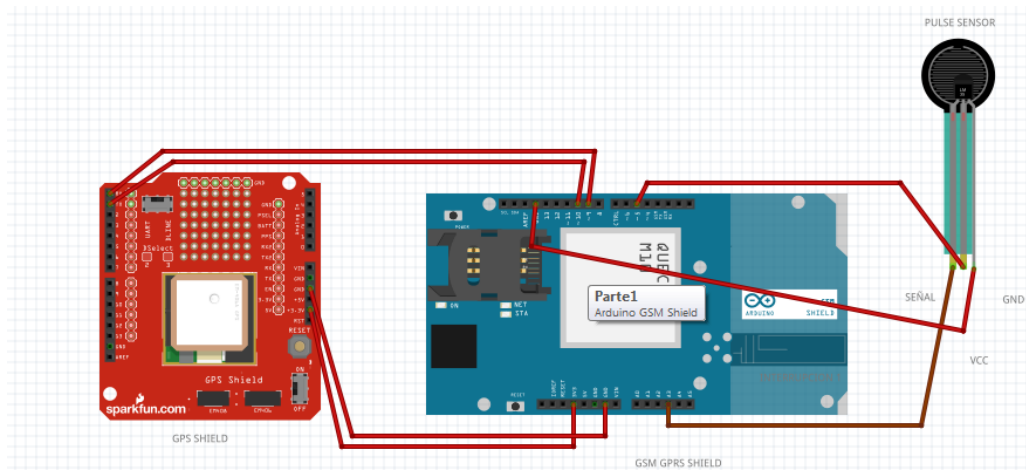
fritzing

Figura 12-2. Diagrama de conexión de ublox gy-gps6mv2 con GPRS GSM SHIELD

Fuente: Gallo S. Juan S. (2016)

A más de la conexión del módulo gps ublox gy-gps6mv2, también se presenta en la figura 13-2 la conexión de todos los dispositivos: Arduino Uno, GPRS GSM SHIELD, módulo gps ublox gy-gps6mv2, sensor de pulsos, excepto la alimentación por medio de la batería.

Primero se conecta la placa de Arduino Uno con el módulo GPRS GSM SHIELD, luego la conexión es del módulo gps ublox gy-gps6mv2 a la placa GPRS GSM SHIELD, al final se conecta el dispositivo de entrada es decir, el sensor de pulsos.



fritzing

Figura 13-2. Diagrama de conexión de ublox gy-gps6mv2 con pulso sensor GPRS GPS SHIELD

Fuente: Gallo S. Juan S. (2016)

2.5. Selección del lenguaje de programación

Tabla 7-2: Tabla de comparación de Lenguajes de Programación para Arduino

DISPOSITIVOS	CARACTERISTICAS	APLICACIONES	VENTAJAS Y DESVENTAJAS
JAVA	<p>Es un método de programación y diseño del lenguaje.</p> <p>Programas escritos en el lenguaje Java pueden ejecutarse igualmente en cualquier tipo de hardware.</p> <p>El problema de fugas de memoria se evita en gran medida gracias a la recolección de basura.</p> <p>La sintaxis de Java se deriva en gran medida de C++</p>	<p>El entorno de ejecución Java (JRE) se ha convertido en un componente habitual en los PC de usuario</p> <p>Muchas aplicaciones Java lo incluyen dentro del propio paquete de la aplicación de modo que se ejecuten en cualquier PC.</p>	<p>El bytecode de Java puede ser interpretado en tiempo de ejecución por la máquina virtual</p> <p>- Java fue diseñado para ofrecer seguridad y portabilidad</p> <p>- No ofrece acceso directo al hardware de la arquitectura ni al espacio de direcciones.</p>
Visual Basic .NET	<p>Los compiladores de Visual Basic generan código que requiere una o más librerías de enlace dinámico para que funcione</p> <p>Existe un gran número de bibliotecas del tipo DLL con variedad de funciones.</p> <p>Dentro del mismo Entorno de desarrollo integrado (IDE) de Visual Basic se puede ejecutar el programa que esté desarrollándose</p>	<p>Es posible programar para distintos sistemas operativos usando VB.NET.</p>	<p>Facilita el desarrollo de aplicaciones avanzadas</p> <p>No es retro compatible con Visual Basic.</p> <p>Integra el diseño e implementación de formularios de Windows.</p> <p>Tiene acceso total a la API de Windows,</p> <p>Es uno de los lenguajes de uso más extendido</p>
LENGUAJE C	<p>Un núcleo del lenguaje simple y muy flexible Un sistema de tipos que impide operaciones sin sentido.</p> <p>Usa un lenguaje de preprocesado.</p> <p>Acceso a memoria de bajo nivel con el uso de punteros.</p> <p>Un conjunto reducido de palabras clave.</p> <p>Tipos de datos agregados</p>	<p>Varias aplicaciones en muchos ámbitos de la electrónica y otros</p>	<p>Lenguaje muy eficiente</p> <p>Es el lenguaje más portado en existencia</p> <p>Facilidad para realizar programas modulares y/o utilizar código o bibliotecas existentes.</p> <p>El mayor problema es la gran diferencia en velocidad de desarrollo</p>

Realizado por: Juan Gallo, 2016

El lenguaje C para programar Arduino es el más idóneo por sus diferentes ventajas y facilidades, como muestra la tabla 7-2 por todas las características que este presenta y su fácil utilización dentro de la aplicación, pero para más explicación a continuación se especifica todo cuanto a este dispositivo.

2.5.1. *Introducción al lenguaje de programación*

La plataforma Arduino se programa mediante el uso de un lenguaje propio basado en el lenguaje de programación de alto nivel Processing. Sin embargo, es posible utilizar otros lenguajes de programación y aplicaciones populares en Arduino, debido a que Arduino usa la transmisión serial de datos soportada por la mayoría de los lenguajes mencionados. Para los que no soportan el formato serie de forma nativa, es posible utilizar software intermediario que traduzca los mensajes enviados por ambas partes para permitir una comunicación fluida. Algunos ejemplos son:

- 3DVIA Virtools: aplicaciones interactivas y de tiempo real.
- Adobe Director
- BlitzMax (con acceso restringido)
- C
- C++ (mediante libSerial o en Windows)
- C#
- Cocoa/Objective-C (para Mac OS X)
- Flash (mediante ActionScript)
- Gambas
- Isadora (Interactividad audiovisual en tiempo real)
- Instant Reality (X3D)
- Java
- Librelab (software de medición y experimentación)
- Mathematica
- Matlab
- MaxMSP: Entorno gráfico de programación para aplicaciones musicales, de audio y multimedia
- Minibloq: Entorno gráfico de programación, corre también en las computadoras OLPC

- Perl
- Php
- Physical Etoys: Entorno gráfico de programación usado para proyectos de robótica educativa
- Processing
- Pure Data
- Python
- Ruby
- Scratch for Arduino (S4A): Entorno gráfico de programación, modificación del entorno para niños Scratch, del MIT
- Squeak: Implementación libre de Smalltalk
- SuperCollider: Síntesis de audio en tiempo real
- VBScript
- Visual Basic .NET

Decidí tomar tres lenguajes de programación de la lista anterior Java, Visual Basic .NET, lenguaje C, para compararlos debido a que son los más populares y por ende los más conocidos, además son con los cuales me siento más familiarizado, pues con estos tres lenguajes he realizado algunos proyectos dentro de mi carrera universitaria.

De estos tres lenguajes de programación comparados se escogió el lenguaje C, debido a que es más sencillo de programar, más conocido y ofrece una amplia gama de instrucciones que sirven para el proyecto de investigación desarrollado.

Las instrucciones del proyecto permiten controlar la señal que viene desde el sensor de pulsos cardiacos, para cumplir con los objetivos planteados, es decir, poder enviar mensajes de texto a celulares, dependiendo del rango de pulsos del usuario, con la información de la ubicación mediante la navegación satelital y el estado de la persona, con la alerta escrita, según el número de pulsos que emita el sensor, por razones de prueba se configuró de la siguiente forma, si el rango está menor a 50, el mensaje se envía al teléfono con la ubicación, un link de internet para ver en un mapa y un texto que dice bradicardia, es decir está por debajo de lo normal, del mismo modo si el rango está mayor a 100, el mensaje se envía al teléfono con la ubicación, un link de internet para ver en un mapa y un texto que dice taquicardia, el número de celular puede ser el de emergencia o del cardiólogo tratante del paciente, para que se dé la asistencia inmediata y automática por parte de los mismos. Además existe la instrucción de que toda la información de los mensajes se almacene

dentro de una base de datos, para tener un tipo de historia clínica de cada paciente o usuario de este dispositivo.

2.5.2. *Funciones básicas y operadores*

La plataforma de Arduino se basa en el lenguaje C y soporta todas las funciones de este estándar y algunas de C++. Se muestra un resumen a continuación con la sintaxis y estructura del lenguaje de Arduino:

Sintaxis básica

- Para los comentarios: `//`, `/* */`
- Delimitadores: `;`, `{ }`
- Para la cabeceras: `#define`, `#include`
- Para asignaciones: `=`
- Operadores aritméticos: `+`, `-`, `*`, `/`, `%`
- Operadores Booleanos: `&&`, `||`, `!`
- Operadores para comparación: `==`, `!=`, `<`, `>`, `<=`, `>=`
- Operadores de bits: `&`, `|`, `^`, `~`, `<<`, `>>`
- Operadores para acceso a punteros: `*`, `&`
- Operadores compuestos:
 - Decremento e incremento de las variables: `++`, `--`
 - Operación y asignación: `+=`, `-=`, `*=`, `/=`, `&=`, `|=`

Estructuras de control

- Los buckles: while, for, do... while.
- Los conditionals: switch case, if, if...else.
- Bifurcations y saltos: continue, break, goto, return.

Variables

Para el tratamiento de las variables la plataforma de Arduino, también tiene mucha similitud con el lenguaje C.

Constantes

- HIGH/LOW: se refieren a los niveles alto y bajo de la señal de entrada y de salida. De 3 voltios o más son considerados los niveles altos.
- INPUT/OUTPUT: son las entradas o las salidas.
- false o falso: esta señal representa al cero lógico. Su nombre se escribe en letra minúscula, a diferencia de las señales HIGH/LOW.
- true o verdadero: la definición de esta señal es más amplia que la señal de false. Según el álgebra de Boole, cualquier número entero que sea diferente de cero es "verdadero", como en el caso de -200, -1 o 1. Es "falso" si el valor es cero.

Tipo de datos

Estos son los tipos de datos que se utilizan para Arduino.

- char, unsigned char, string, void, boolean, byte, int, unsigned int, word, long, unsigned long, float, double, array.

Conversión entre tipos

Lo que hacen estas funciones es recibir un argumento como alguna variable de cualquier tipo y se devuelve una variable ya convertida en el tipo que se ha solicitado.

- int(),byte(),char(),long(), word(),float()

Cualificadores y ámbito de las variables

Estos son los cualificadores de la plataforma de Arduino en el ámbito de las variables.

- Const, static, volatile.

Utilidades

- sizeof()

Funciones básicas

E/S digital

Estas son las entradas y salidas digitales.

- `digitalWrite (pin, valor)`
- `int digitalRead (pin)`
- `pinMode (pin, modo)`

E/S analógica

Estas son las entradas y salidas analógicas.

- `int analogRead (pin)`
- `analogWrite (pin, valor)`
- `analogReference (tipo)`

E/S avanzada

Las siguientes son las entradas y salidas avanzadas.

- `unsigned long pulseIn (pin, valor)`
- `shiftOut (dataPin, clockPin, bitOrder, valor)`

Tiempo

- `unsigned long micros()`
- `unsigned long millis()`
- `delayMicroseconds(microsegundos)`
- `delay(ms)`

Matemáticas

- `max(x, y)`, `min(x, y)`, `constrain(x, a, b)`, `abs(x)`, `map(valor, fromHigh, fromLow, toHigh, toLow)`, `sqrt(x)`, `pow(base, exponente)`

Trigonometría

- `tan(rad)`, `sin(rad)`, `cos(rad)`

Números aleatorios

- `long random(mín, máx)`, `randomSeed(semilla)`, `long random(máx)`

Bits y Bytes

- `highByte()`, `lowByte()`, `bitWrite()`, `bitRead()`, `bitClear()`, `bitSet()`, `bit()`

Interrupciones externas

- `attachInterrupt(modos, interrupción, función)`
- `detachInterrupt(interrupción)`

Interrupciones

- `noInterrupts()`, `interrupts()`

Comunicación por puerto serie

La palabra "Serial" debe ir antepuesta a las funciones de manejo del puerto serie, aunque no existe la necesidad de su declaración en la cabecera del programa. Debido a esta razón se las consideran funciones base para el lenguaje. Las siguientes son las funciones para la transmisión serial:

- `available()`, `begin()`, `flush()`, `write()`, `read()`, `print()`, `println()`

Manipulación de puertos

La manipulación de forma más rápida y a más bajo nivel de los contactos de entrada/salida del microcontrolador de las placas Arduino, nos permiten los registros de puertos. Entre los registros B(0-7), C (analógicos) y D(8-13) están repartidos los contactos eléctricos de las placas Arduino. Se ha observado y modificado su estado Mediante estas variables:

- `PORT[B/C/D]`: registro de datos o Data Register del puerto B, C ó D. Esta es una variable de Lectura/Escritura.
- `DDR[B/C/D]`: dirección del registro de datos o Data Direction Register del puerto B, C ó D. Esta es una variable de Lectura/Escritura que nos sirve para especificar que contactos serán utilizados como entrada y salida.
- `PIN[B/C/D]`: registro de pines de entrada o Input Pins Register del puerto B, C ó D. Esta es una variable de sólo lectura.

Como un ejemplo podemos decir lo siguiente, para la especificación de los contactos 9 a 13 como salidas y el contacto 8 como entrada (debido a que el puerto D utiliza los pines de la placa Arduino 8 al 13 digitales) solo bastaría con usar la siguiente asignación:

```
DDRD = B11111110;
```

Como se ha comprobado en la práctica, el conocimiento del lenguaje C, permite programar en la plataforma de Arduino por la similitud que existe entre éste y el lenguaje nativo del proyecto, lo que quiere decir que debemos aprender algunas funciones específicas que dispone el lenguaje del proyecto para el manejo de los diferentes parámetros. Sin la necesidad de muchos conceptos previos se pueden realizar aplicaciones con cierta complejidad.

2.5.2.1. *AVR Libc*

Excepto en las placas con Cortex M3, todos los programas que se compilan con Arduino se enlazan contra AVR Libc22, debido a esto tienen acceso a varias de sus funciones. Con el objetivo de facilitar una biblioteca C con alta calidad para usarse con el compilador GCC sobre

microcontroladores Atmel AVR, esta plataforma es un proyecto de software libre. Está compuesto de 3 partes:

- avr-libc
- avr-binutils
- avr-gcc

Con constantes y funciones de AVR está escrita la gran mayoría del lenguaje de programación Arduino y ciertas funcionalidades sólo se las puede obtener solamente con el uso de AVR.

Interrupciones

Estas son las señales de interrupción:

- cli(): desactiva las interrupciones globales
- sei(): activa las interrupciones

Temporizadores

El menor retardo posible del lenguaje Arduino se crea a partir de la función delayMicroseconds(), que va más o menos por los 2µs. Se debe usar la llamada de ensamblador 'nop' o no operación, para los retardos más pequeños. Cada una de estas sentencia 'nop' necesita un ciclo de máquina para ejecutarse (16 MHz) de más o menos 62,5ns.

Manipulación de puertos

Manipular los puertos con código AVR, es más rápida para usar que la función `digitalWrite()` de Arduino.

2.5.2.2. *Diferencias con Processing*

La sintaxis del lenguaje de programación Arduino es una versión simplificada de C/C++ y tiene algunas diferencias respecto de Processing, debido a que Arduino está basado en C/C++ mientras que Processing se basa en Java, existen varias diferencias en cuanto a la sintaxis de ambos lenguajes y el modo en que se programa:

Arreglos

Tabla 8-2: Diferencia de arreglos entre Arduino Processing

Arduino	Processing
<code>int bar[8];</code> <code>bar[0] = 1;</code>	<code>int[] bar = new int[8];</code> <code>bar[0] = 1;</code>
<code>int foo[] = { 0, 1, 2 };</code>	<code>int foo[] = { 0, 1, 2 };</code> o bien <code>int[] foo = { 0, 1, 2 };</code>

Realizado por: Juan Gallo, 2016

Tabla 9-2: Diferencia de impresión de cadenas entre Arduino y Processing

Arduino	Processing
Serial.println("hello world");	println("hello world");
int i = 5; Serial.println(i);	int i = 5; println(i);
int i = 5; Serial.print("i = "); Serial.print(i); Serial.println();	int i="5;" println("i =" + i);

Realizado por: Juan Gallo, 2016

2.5.3. Bibliotecas en Arduino

Las siguientes son las bibliotecas estándar que ofrece Arduino:

Serial

Por el puerto serie se hace lectura y escritura.

EEPROM

Se hace lectura y escritura en el almacenamiento permanente.

- write(), read()

Ethernet

Es la conexión a Internet que se hace mediante “Arduino Ethernet Shield“. Además puede funcionar como servidor para aceptar peticiones remotas o como cliente. Hasta cuatro conexiones simultáneas son permitidas. Los siguientes son los comandos que se usan:

- Cliente: Client(), connect(), connected(), write(), read(), print(), println(), available(), flush(), stop()
- Servidor: Server(), write(), begin(), available(), print(), println()

Firmata

Esta es una biblioteca para la comunicación con aplicaciones informáticas usando el protocolo estándar para el puerto serie.

LiquidCrystal

Esta biblioteca soporta los modos de 4 y 8 bits. Además es el control de LCDs con chipset Hitachi HD44780 o compatibles.

Servo

Esta biblioteca es para el control de los servo motores. La biblioteca soporta hasta 12 motores en la mayoría de las placas Arduino a partir de la versión 0017 de Arduino y 48 en la Arduino Mega. Los comandos usados son los siguientes:

- `write()`, `writeMicroseconds()`, `read()`, `attach()`, `attached()`, `detach()`

SoftwareSerial

En contactos digitales permite la comunicación serie. Arduino sólo incluye comunicación en los contactos 0 y 1 por defecto, pero debido a esta biblioteca se puede realizar esta comunicación con los restantes.

Stepper

Nos permite el control de los motores paso a paso unipolares o bipolares.

- `setSpeed(rpm)`, `step(steps)`, `Stepper(steps, pin1, pin2)`, `Stepper(steps, pin1, pin2, pin3, pin4)`

Wire

Mediante Two Wire Interface (TWI/I2C) nos permite el envío y recepción de datos sobre una red de dispositivos o sensores.

Para el manejo de matrices de diodos LED se usan las bibliotecas Matrix y Sprite de Wiring que son totalmente compatibles con Arduino. Además existen muchas otras bibliotecas para otras muchas aplicaciones.

Creación de bibliotecas

Existe la posibilidad de escribir bibliotecas propias de acuerdo a las necesidades de los usuarios que utilizan Arduino. Esto nos permite reutilizar el código para realizar otros proyectos, mantener el código fuente principal separado de las bibliotecas y la organización de los programas realizados es mucho más clara.

2.6. Dispositivos de salida

Para la visualización de los resultados del proyecto de investigación se utilizó dos dispositivos muy importantes dentro del ámbito de la comunicación y que con el tiempo han avanzado con pasos agigantados en el ámbito de la tecnología, estos dispositivos electrónicos son el teléfono móvil o teléfono celular y el ordenador o computador.

El teléfono móvil es el dispositivo de salida que permite visualizar los mensajes de texto que se han procesado dentro del dispositivo con la ubicación posicional de la persona que lo está usando y el estado de emergencia de la misma.

Una vez realizado todo el proceso anterior, por medio de la función de GPRS el dispositivo hace conexión a internet, y por medio de un servidor gratuito se conecta a un computador, para almacenar toda la información de los mensajes de texto dentro de una base de datos, que servirá como registro de la actividad del pulso cardiaco de las personas que utilicen esta aparato, a manera de una historia clínica, para servicio tanto de los pacientes, como de los profesionales tratantes de las diferentes enfermedades cardiovasculares.

CAPÍTULO III

3. ANALISIS DE RESULTADOS

3.1. Introducción

Se comprobará la hipótesis del proyecto de tesis que tiene como contenido el siguiente: El diseño y la construcción del prototipo para el monitoreo inalámbrico del pulso cardiaco en tiempo real con posicionamiento global, enviará un mensaje a los teléfonos celulares requeridos dependiendo del nivel del ritmo cardiaco de la persona que utilice tal dispositivo, con la información de ubicación exacta y el estado del pulso cardiaco actual del individuo.

Para ello se realizó una serie de pruebas a todos los elementos utilizados en el proyecto de investigación en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales, además se tomaron muestras a personas dentro de la población con diferentes edades y actividades, con la ayuda de algunos aparatos para medir el tiempo como cronómetros y otros como fuentes de voltaje para los elementos electrónicos utilizados en la construcción de este prototipo.

3.2. Análisis de pruebas y resultados

3.2.1. Pruebas del sensor de pulsos

El sensor de pulsos Pulse Sensor Amped de la figura 1-3 que se utilizó en este proyecto de investigación para la captación de la señal de los pulsos cardiacos puede ser alimentado con una tensión que va desde los 3V hasta los 5V.



Figura 1-3. Prueba con el sensor de pulsos
Fuente: Gallo S. Juan S. (2016)

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se puso a prueba este elemento figura 2-3 conectándolo en su entrada a una fuente de alimentación, con valores de tensión desde 1V hasta 6V, y un led para observar el estado de la salida de la señal, arrojando los resultados de la tabla 1-3.



Figura 2-3. Pruebas con un led
Fuente: Gallo S. Juan S. (2016)

Tabla 1-3: Resultados de la prueba al sensor de pulsos

ENTRADA	RESULTADO
1V	NO FUNCIONA
2V	LUZ TENUE
3V	CORRECTO FUNCIONAMIENTO
4V	CORRECTO FUNCIONAMIENTO
5V	CORRECTO FUNCIONAMIENTO
6V	SE DAÑA

Realizado por: Juan Gallo, 2016

3.2.2. Pruebas de la placa de Arduino Uno

La placa de Arduino que se usó en el proyecto de investigación para el procesamiento de la señal de los pulsos cardiacos es la placa de Arduino Uno figura 3-3, puede ser alimentado con una tensión que va desde los 7V hasta los 12V, teniendo un voltaje límite desde los 6V hasta los 20V.

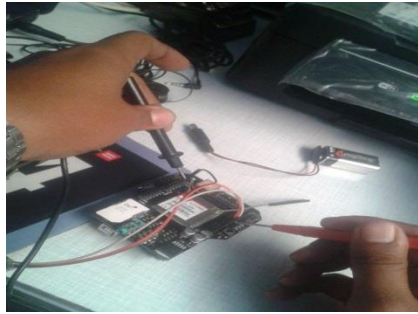


Figura 3-3. Prueba de Arruino

Fuente: Gallo S. Juan S. (2016)

Se puso a prueba este elemento conectándolo en su entrada a una fuente de alimentación, con valores de tensión desde 5V hasta 20V, arrojando los resultados de la tabla 2-3.

Tabla 2-3: Resultados de la prueba al Arduino Uno

ENTRADA	RESULTADO
3V	NO FUNCIONA
4V	SE ENCIENDE PERO NO PROCESA LA SEÑAL
5V	CORRECTO FUNCIONAMIENTO
10V	CORRECTO FUNCIONAMIENTO
12V	CORRECTO FUNCIONAMIENTO
15V	BUEN FUNCIONAMIENTO
20V	AL LIMITE
25V	SE DAÑA

Realizado por: Juan Gallo, 2016

3.2.3. Pruebas del módulo GSM/GPRS Shield V2 y ublox gy-gps6mv2

La placa del módulo para Arduino que se utilizó en este proyecto de investigación para el procesamiento de la señal de los pulsos cardiacos y conexión con los dispositivos de salida, como el teléfono móvil y el ordenador, son las placas GSM/GPRS Shield V2 y ublox gy-gps6mv2 figura 4-3, pueden ser alimentadas con una tensión que va desde los 6V hasta los 12V.



Figura 4-3. Prueba del GSM/GPRS Shield V2 y ublox gy-gps6mv2
Fuente: Gallo S. Juan S. (2016)

Se puso a prueba el elemento antes mencionado conectándolo a la placa de Arduino Uno por medio de sus pines que encajan perfectamente en las entradas del Arduino Uno, entonces se colocó a la entrada de la placa una fuente de alimentación, con valores de tensión que van desde 5V hasta 12V, arrojando los resultados que se muestran a continuación en la tabla 3-3.

Tabla 3-3: Resultados de la prueba al módulo GSM/GPRS Shield V2 y ublox gy-gps6mv2

ENTRADA	RESULTADO
3V	NO FUNCIONA
4V	SE ENCIENDE PERO NO SE ENLAZA
5V	CORRECTO FUNCIONAMIENTO
10V	CORRECTO FUNCIONAMIENTO
12V	CORRECTO FUNCIONAMIENTO
16V	SE DAÑA

Realizado por: Juan Gallo, 2016

3.2.4. Pruebas experimentales del proyecto de investigación

3.2.4.1. Pruebas de toma del pulso cardiaco

Para probar el correcto funcionamiento de este proyecto de investigación, se hicieron pruebas sin la ayuda de algún aparato electrónico para saber en promedio el número de pulsaciones por minuto en una persona como muestra la figura 5-3.



Figura 5-3. Prueba del pulso a personas
Fuente: Gallo S. Juan S. (2016)

Se tomaron pruebas a varias personas de distintas edades, con varias actividades para saber el promedio de pulsaciones normales por minuto en una persona, conociendo que en una persona normal las pulsaciones van de 60 a 100 por minuto en reposo, según el promedio tomado, pero se debe tener en cuenta que el pulso en cada persona es distinto, dependiendo de varios factores, como ejemplo, en un deportista de élite está entre 40 y 60.

Las pruebas realizadas a 10 diferentes personas en reposo figura 4-3, con actividad física figura 5-3 y con alguna enfermedad cardiovascular figura 6-3, tomadas con el dedo índice y corazón, cronometradas con el teléfono celular, arrojan los siguientes resultados.

Tabla 4-3: Resultados de la toma de pulsos de personas en reposo

PERSONAS	EDAD	NUMERO DE PULSACIONES POR MINUTO
BORIS CORONEL	30	63
PAUL GALLO	41	65
DAMIAN GALLO	35	75
IVAN LEMA	30	80
JAVIER GARCIA	31	62
VILMA SORIA	65	63
LEANDRO GALLO	14	68
ELENA NUÑEZ	31	58

Realizado por: Juan Gallo, 2016

Tabla 5-3: Resultados de la toma de pulsos de personas en movimiento

PERSONAS	EDAD	NUMERO DE PULSACIONES POR MINUTO
BORIS CORONEL	30	104
PAUL GALLO	41	107
DAMIAN GALLO	35	103
IVAN LEMA	30	110
JAVIER GARCIA	31	112
VILMA SORIA	65	106
LEANDRO GALLO	14	104
ELENA NUÑEZ	31	106

Realizado por: Juan Gallo, 2016

Tabla 6-3: Datos de personas con algún tipo de enfermedad cardiovascular

PERSONAS	ENFERMEDAD	NUMERO DE PULSACIONES EN UN MINUTO
SARA ESPIN	BRADICARDIA	50
ENRIQUE VALLE	TATICARDIA	107
JOSE TORRES	BRADICARDIA	45
LAURA VARGAS	TATICARDIA	112

Realizado por: Juan Gallo, 2016

3.2.5. Pruebas del prototipo

El presente proyecto de investigación fue sometido a varias pruebas, para comprobar si el funcionamiento del mismo está cumpliendo con los objetivos puestos al inicio del presente trabajo, además para demostrar la hipótesis planteada.

Las pruebas fueron realizadas tanto para la entrada del dispositivo, es decir, la tensión con la cual trabaja el prototipo, como a la salida del mismo, es decir, la conexión con los elementos electrónicos que visualizan los resultados, como son el teléfono móvil y el ordenador.

Las pruebas que se realizó a la entrada del prototipo, se refieren a la alimentación del mismo, con el voltaje al cual trabaja, el límite de la tensión del aparato, con un voltaje más bajo del establecido y uno más alto.

Además se realizaron pruebas específicas sobre la energía del prototipo, es decir al ser inalámbrico, cuanto es la duración de la batería portátil a la que está conectado este dispositivo, por ende se realizó la tabla 7-3 que muestra los resultados realizados para la batería.

Tabla 7-3: Resultados de las pruebas a la batería portátil

TIEMPO	CARGA DE LA BATERIA
1 HORA	100%
2 HORAS	80%
4 HORAS	50%
8 HORAS	25%
12 HORAS	5%
24 HORAS	0%

Realizado por: Juan Gallo, 2016

También se realizaron otro tipo de pruebas, para conocer el correcto funcionamiento del prototipo, para proporcionar a los usuarios del mismo los mayores beneficios en el funcionamiento del dispositivo figura 6-3, para esto se ha tabulado los resultados de la afectación del estado del clima en el aparato, mostrados en la tabla 8-3.

Tabla 8-3: Resultados de las pruebas del estado del clima

ESTADO DEL CLIMA	PORCENTAJE DE FUNCIONAMIENTO
Despejado	100%
Seminublado	90%
Nublado	80%
Nublado con lluvia	60%
Lluvia intensa	50%

Realizado por. Juan Gallo, 2016

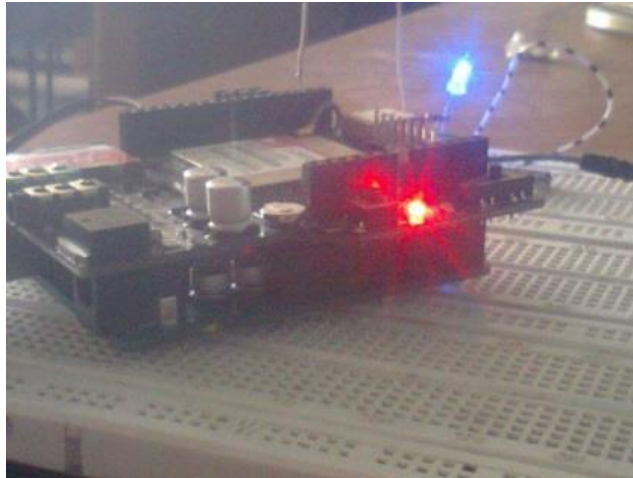


Figura 6-3. Pruebas a la entrada del prototipo
Fuente: Gallo S. Juan S. (2016)

Las pruebas realizadas a la salida, en cambio fueron hechas a través del prototipo a personas comunes, tomando diferentes valores de acuerdo a las pulsaciones cardiacas de cada individuo sometido a las mencionadas pruebas como se muestra en la figura 7-3.

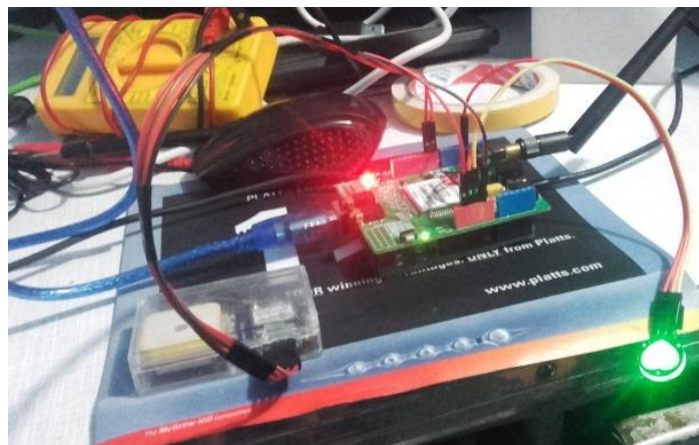


Figura 7-3. Prueba a la salida del prototipo
Fuente: Gallo S. Juan S. (2016)

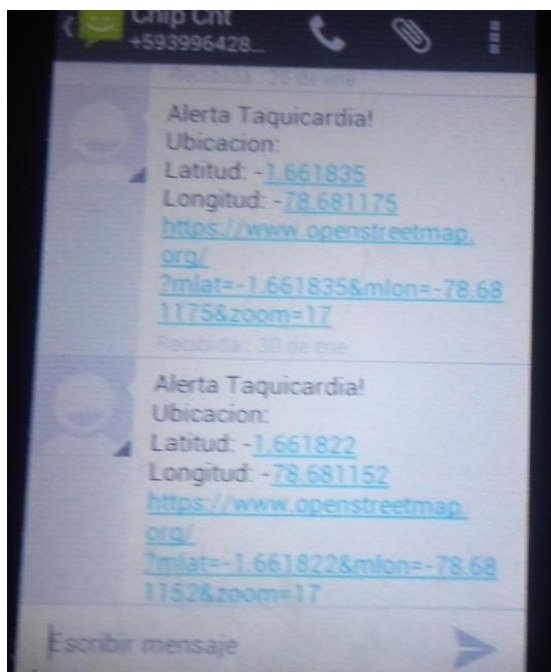


Figura 8-3. Contenido del mensaje en el teléfono móvil
Fuente: Gallo S. Juan S. (2016)

CONCLUSIONES

- Con el diseño y construcción del prototipo se ha logrado monitorear el pulso cardiaco con ayuda de un sensor, un microcontrolador, un módulo GPS y un módulo GSM/GPRS.
- Por medio de la investigación del comportamiento del ritmo cardiaco, se ha logrado conocer cuando una persona sufre alguna anomalía en su ritmo cardiaco.
- Analizando los elementos electrónicos disponibles en el mercado, se pudo determinar los más idóneos para la construcción del prototipo.
- Basado en el propio lenguaje de la plataforma usada, se pudo diseñar el prototipo y la interface de usuario.
- Al hacer la adquisición de las señales de pulso a través de un sensor y tratarla en base a un algoritmo matemático, se pudo determinar cuando el ritmo está por debajo o por sobre el normal, para realizar una tarea específica.
- Al realizar las pruebas del controlador y sus periféricos, se logró verificar la correcta conexión, interacción y configuración entre ellos.

RECOMENDACIONES

- Mejorar los elementos electrónicos, para optimizar su desempeño.
- Realizar pruebas a los elementos electrónicos antes de su implementación, puesto que pueden presentarse complicaciones, como por ejemplo un sobre voltaje.
- Mejorar el algoritmo de programación, para que el consumo de potencia sea más eficiente.
- Cambiar los elementos cuando se haya cumplido su vida útil.
- Disminuir el tamaño de los elementos para su mejor utilización y transportación buscando el hardware adecuado.
- Realizar un estudio técnico, para que las versiones posteriores cumplan con las normas médicas estandarizadas.

BIBLIOGRAFÍA

Comunicación Arduino. *Comunicación de Arduino con módulos afines*(Consulta: 5 de Noviembre de 2014). Disponible en:

<http://playground.arduino.cc/ArduinoNotebookTraducccion/Appendix4>

Comunicación Serial de Arduino. *Guia de programación de Arduino*(Consulta: 10 de Noviembre de 2014). Disponible en:

<http://playground.arduino.cc/ArduinoNotebookTraducccion/Serial>

FLOYD., T., Dispositivos Electrónicos., 8a.ed., México D.F. - México., Prentice Hall., 2008., Pp. 592 – 798 – 885 – 932.

JOYANES., L., Fundamentos de Programación., 4a.ed., Madrid-España., Mac Grawn Hill., 2009., Pp. 201 – 243 – 551 – 614.

Microcontroladores. *Microcontrolador PIC*(Consulta: 20 de Octubre de 2014). Disponible en: <http://microcontrolador.cc/en/pmwiki.php?n=Main/PIC>

Módulos para Sistemas Embebidos. *Módulo GPS*(Consulta: 29 de Octubre de 2014). Disponible en:

<http://www.todoelectronica.com/gps-shield-para-dotar-a-arduino-de-un-receptor-gps-p-10024.html>

Módulos para Sistemas Embebidos. Módulo GSM/GPRS(Consulta: 28 de Octubre de 2014).

Disponible en:

<http://www.todoelectronica.com/gsmgprs-y-gps-shield-v2para-arduino-p-15421.html>

Módulos para Sistemas Embebidos. Módulo GSM Shield(Consulta: 30 de Octubre de 2014).

Disponible en:

<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoGSMShield>

OPPENHEIM., A., & et al., Señales y Sistemas., 2a ed., México D.F. – México., Prentice Hall., 2010., Pp. 582 - 625.

Programación de las placas Arduino. Guia de programación de Arduino(Consulta: 2 de Noviembre de 2014). Disponible en:

<http://informatica.uv.cl/~gabriel/docs/arduino/arduino guia.pdf>

Programación de las placas Arduino. Lenguaje propio de Arduino(Consulta: 1 de Noviembre de 2014). Disponible en:

<http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/11833/1/arduino.pdf>

REINOSO., E., & et al., Bases de Datos., s.ed., México D.F. - México., Alfaomega., 2012., Pp. 185 – 215.

Sensores de pulso. Automatizacion de señales(Consulta: 10 de Octubre de 2014). Disponible en:

<http://www.bitmakers.com/automatizacioncategoriasdetalle.php?p=181>

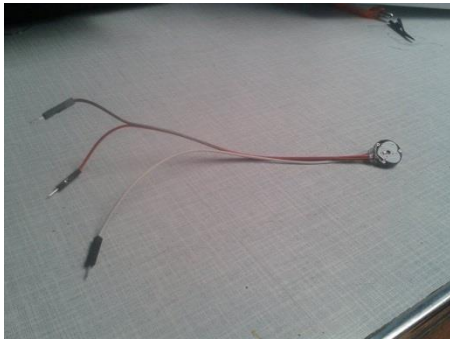
Sensor de pulsos. *Hardware del pulse sensor* (Consulta: 10 de Octubre de 2014). Disponible en:
<http://pulsesensor.com/pages/open-hardware>

SIMINI, F., Ingeniería Biomédica perspectivas desde el Uruguay., 1a.ed., Montevideo – Uruguay., 2007., Pp. 29 – 45 – 69 – 88.

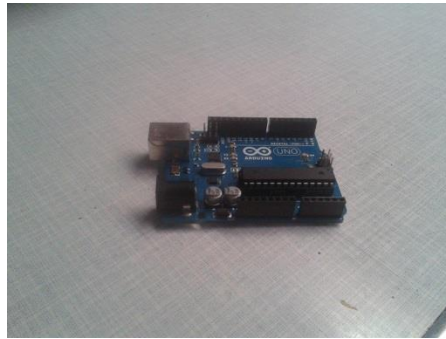
Sistemas Embebidos. *Sistema Arduino*(Consulta: 20 de Octubre de 2014). Disponible en:
<http://arduino.cc/en/pmwiki.php?n=Main/ArduinoBoardNano>

ANEXOS

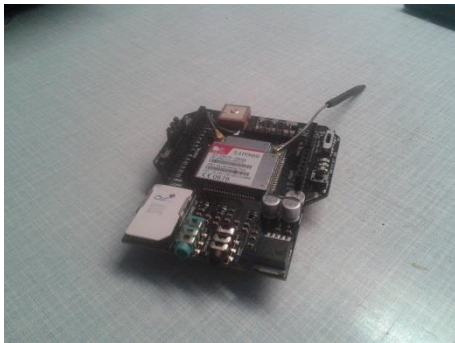
ANEXO A. FOTOS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO



SENSOR DE PULSOS



ARDUINO UNO



GSM/GPRS Shield V2



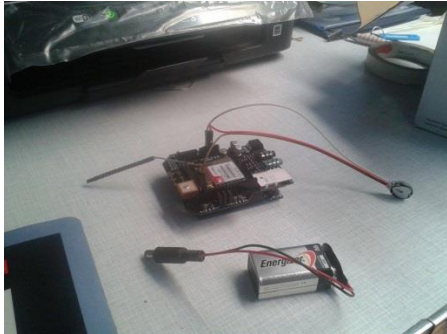
TELEFONO MOVIL



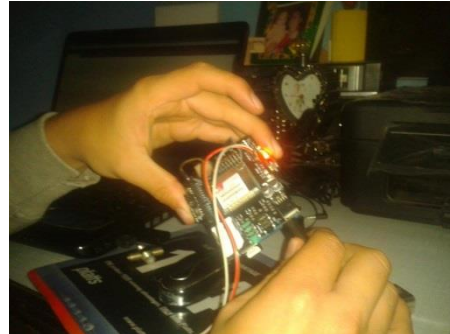
**SE COLOCA EL MODULO GSM/GPRS
SOBRE LA PLACA DE ARDUINO UNO**



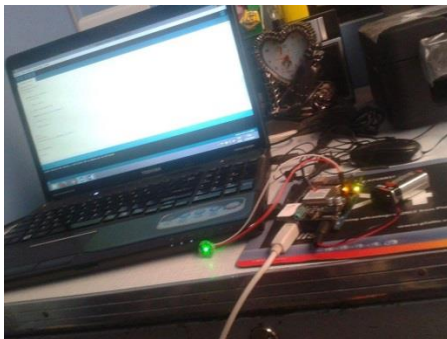
**SE COLOCA EL SENSOR DE PULSOS
MODULO GPS, EN EL MODULO
GSM/GPRS LAS TRES PATAS EN LAS
ENTRADAS 1 2 GND**



SE COLOCA LA BATERIA DE 9V EN UN BROCHE CON PLUG O UNA BATERIA PORTATIL



SE CONECTA EL PLUG DE LABATERIA A LA ENTRADA DE ALIMENTACION DEL ARDUINO

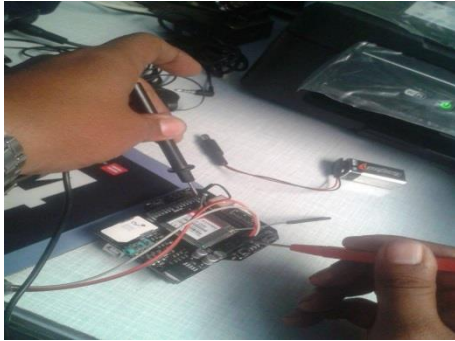


SE CARGA EL PROGRAMA ANTES REALIZADO EN ARDUINO 1.0.5-r5 CON PROGRAMACION C DENTRO DE LA PLACA DE ARDUINO UNO

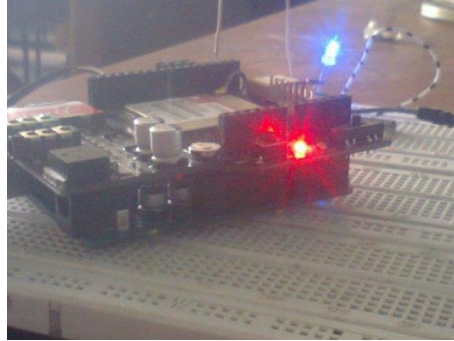


FINALMENTE SE REALIZA LA CONEXIÓN CON EL TELEFONO MOVIL A TRAVES DE LA PROGRAMACION

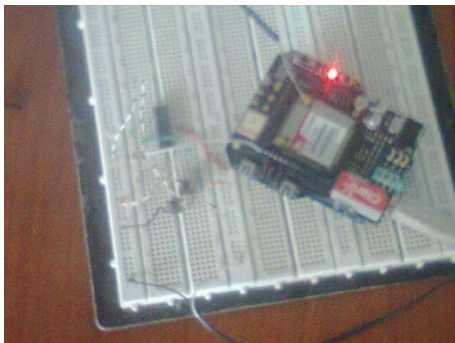
ANEXO B. FOTOS DE LAS PRUEBAS DEL PROTOTIPO



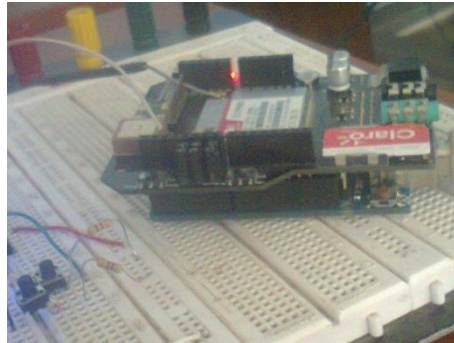
**PRUEBA DE VOLTAJE A LA ENTRADA
DEL DISPOSITIVO PARA SABER DESDE
CUANTO VOLTAJE FUNCIONA
EL LIMITE MAXIMO**



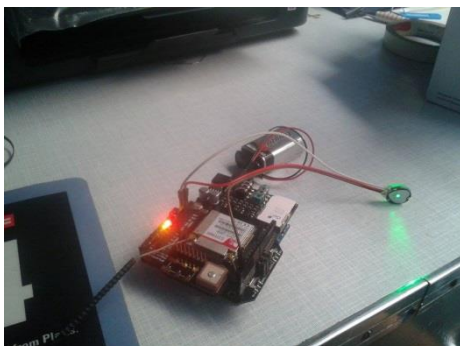
**ENCENDIDO DE LUCES LED EN UN
PROTO BOARD PARA COMPROBAR EL
PASO DE LA CORRIENTE**



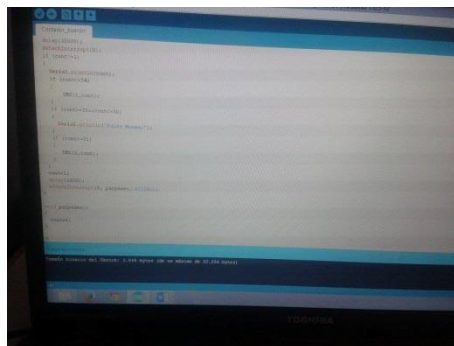
**PRUEBA PARA SENSAR LOS
PULSOS CARDIACOS CON UN QRD
CONECTADO CON UNA FUENTE**



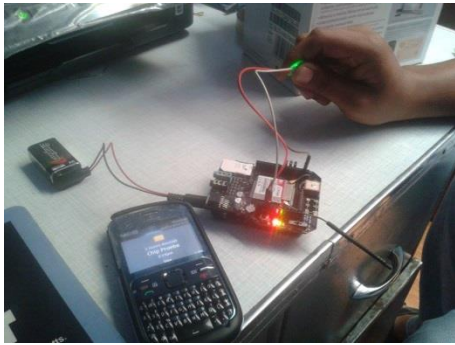
**PRUEBA CON UN CHIP DE CLARO EL
FUNCIONAMIENTO DE LA TRANSMICION
DE DATOS**



**PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO
PARA EL ENCENDIDO TOTAL DEL
DISPOSIIVO**



**PRUEBA DE TRANSMICION DE DATOS
HACIA EL ORDENADOR**



**PRUEBA DEL ENVIO DEL MENSAJE
HACIA EL TELEFONO MOVIL**



**PRUEBA DE LA TOMA MANUAL DEL PULSO
EN UNA PERSONA**

ANEXO C. PROGRAMACION EN ARDUINO 1.0.5-r2

```
#include <SoftwareSerial.h>

#include <String.h>

String equipo= "equipo1";

volatile int cont=1;

unsigned long tiempoactual=0,tiempoprevio=0;

long tiempoesperado = 20000;

SoftwareSerial mySerial(7, 8);

void setup()
{
  gsmsetup();
  gpssetup();
  Serial.begin(19200);
  pinMode(2, INPUT);
  digitalWrite(2, HIGH); // resistor de pull up
  attachInterrupt(0, parpadeo, RISING);
}

void loop()
{
  displayInfo();
  tiempoactual=millis();
  if(tiempoactual-tiempoprevio==tiempoesperado) {
    Serial.println("1 minuto");
    tiempoprevio=tiempoactual;
    detachInterrupt(0);
    if (cont!=1)
    {
      Serial.println(cont);
      if (cont<=69)
```

```

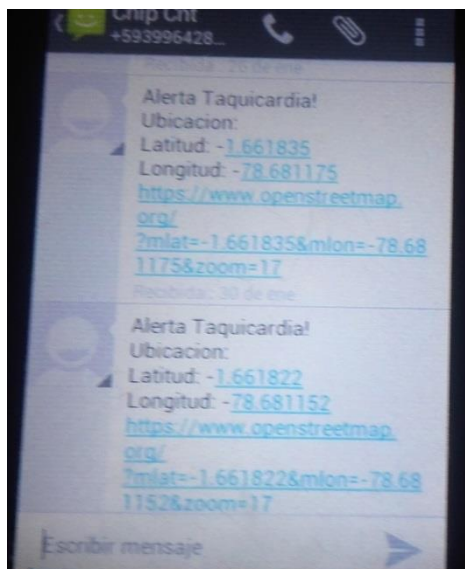
{
    Serial.println("Bradicardia");
    Serial.println(cont);
    Mensaje(cont);
    MensajeInternet(cont);
}
if (cont>=70&&cont<=100)
{
    Serial.println("Pulso Normal");
    Serial.println(cont);
}
if (cont>=101)
{
    Serial.println("Taquicardia");
    Serial.println(cont);
    Mensaje(cont);
    MensajeInternet(cont);
}
}
cont=1;
Serial.println(cont);
attachInterrupt(0, parpadeo, RISING);
}
void parpadeo()
{
    cont++;
    Serial.println(cont);
    delay(500);
}

```

ANEXO D. PANTALLAS DE SALIDA EN TELEFONO MOVIL



PANTALLA DE LLEGADA DEL SMS AL TELEFONO MOVIL



PANTALLA DEL CONTENIDO DEL SMS EN EL TELEFONO MOVIL